

声诱饵对尺度目标的回波模拟方法

孟 荻¹, 袁延艺¹, 刘平香²

(1. 海军装备研究院, 北京 100161; 2. 上海船舶电子设备研究所, 上海 201108)

摘要: 潜艇回波可以等效成若干个散射亮点回波相干迭加的结果, 现代声自导鱼雷基于这一物理事实, 通过辨识目标尺度来识别真假目标。提出使用具备数据通信能力的多个点源声诱饵, 通过信息交互实现各声诱饵回波发射延时的有序控制, 实现对尺度目标的多亮点回波模拟。具体仿真算例表明, 该方法对利用方位走向特征和声成像进行目标尺度识别的鱼雷具有对抗效果。

关键词: 声诱饵; 时延; 尺度亮点

中图分类号: TB556

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-03-0275-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2015.03.017

Decoys simulating scale highlights

MENG Di¹, YUAN Yan-yi¹, LIU Ping-xiang²

(1. Navy Academy of Armament, Beijing 100161, China; 2. Shanghai Marine Electronic Equipment Research Institute, Shanghai 201108, China)

Abstract: The structural highlight echo returned from a submarine is a very remarkable feature for a torpedo on attacking to identify true target. Developing assembled decoys which are distributed randomly in space but coordinated by underwater communication is valuable for imitating the structural highlight spots of echo sound in order to counteract the torpedo. The approaches of coordinated schemes, such as delays between spots in term of arrivals of the torpedo, is proposed and verified feasible by mathematical simulation.

Key words: decoy; time delay; structural highlight

0 引言

潜艇的回波是由艇体和艇外装置对外部声信号的反射而形成的。由于潜艇外形和结构的复杂性以及制造材料的差异, 潜艇对不同方位声信号的反射表现出复杂的声散射特性。声反射回波包括多种成分, 如镜反射波、棱角波及弹性散射波等。这些回波实际上是由艇体外形结构形成的随机散射体和少数几个强镜向反射体形成的复合反射波, 均可等效成某些散射中心即亮点的回波, 实际潜艇可以等效成若干个散射亮点的组合, 总的回波是这些亮点回波相干迭加的结果^[1]。

基于这一物理事实, 现代声自导鱼雷大都具备目标尺度识别能力, 可以用来识别真假目标, 对抗一般的点源声诱饵。

声自导鱼雷识别能力的提高对水声对抗器材提出了新的要求, 人们提出了从不同空间方位的点源延时重发鱼雷寻的脉冲的方式进行尺度目标亮

点模拟的方法^[2,3]。文献[2]中, 采用中性浮力缆绳将几个无指向性、灵敏度可调的基元构成的线列阵悬浮在一定水深之中, 依靠各个基元检测鱼雷发射声脉冲, 提取出声脉冲的包络宽度和载频频率, 经多普勒设置后延时发射, 达到模拟潜艇多亮点回波的目的。

本文提出通过对传统点源声诱饵增加数据通信的功能, 用多个具备通信能力的声诱饵构成一个离散随机阵, 进行尺度目标多亮点回波模拟的构想。由于多个诱饵的散布特性, 模拟的尺度目标在水平空间各个方向都有一定尺度, 可以通过延时控制模拟的尺度大小和方位走向。

1 尺度目标多亮点回波模型

理论分析和实验研究都证明, 在高频时, 复杂目标的回波都是由多个子回波迭加而成的, 每个子回波可以看作是从某个散射点发出的波。任何一个复杂目标都可以等效成若干个散射亮点的组合, 每个散射亮点产生一个亮点回波, 总的回波是这些亮点回波相干迭加的结果, 可以表示为^[4]

$$s(t) = \sum_{i=1}^N a_i(t-\tau) \cdot \cos[(\omega_0 + \omega_i)(t-\tau) + \varphi_i(t)] \quad (1)$$

收稿日期: 2015-01-08; 修回日期: 2015-06-05

作者简介: 孟荻(1976—), 女, 安徽六安人, 工程师, 博士研究生, 研究方向为水声工程。

通讯作者: 孟荻, E-mail: meggielinq@163.com

式(1)中： φ_i 为亮点回波初始相位； ω_0 为回波中心频率； ω_v 为多普勒频移； a_i 为回波幅度。

按照上述尺度目标多亮点回波模型公式，假设在自导接收阵前方 500 m 处有一尺度目标，该目标物理尺度长为 200 m，按照等间隔产生 10 个亮点，用来仿真该目标对入射声波的的回波，如图 1 左所示。

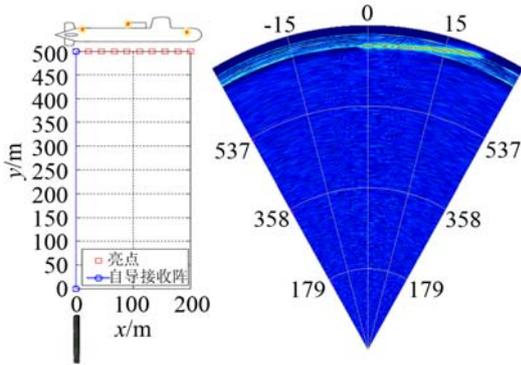


图 1 尺度目标多亮点回波模型仿真
Fig.1 Echo of scale highlights model simulation

对目标产生的回波进行声成像处理，可以得到如图 1 右所示的目标图像，从图 1 中可以估算出目标的长度约是 200 m，且目标走向与仿真设置态势基本一致。该仿真结果表明采用多亮点回波模拟是可以满足应用要求的。

2 声诱饵实现尺度目标回波模拟

2.1 基本方法

图 2 为声诱饵实现尺度目标多亮点回波示意图，利用空间位置随机分布、具有通信能力的多个声诱饵，通过各诱饵间的通信和对发射回波时序的精确控制实现尺度目标多亮点回波模拟。为了达到精确延时的要求，需要对随机分布的声诱饵位置和来袭鱼雷位置及航向进行精确测量。

在获取了诱饵和鱼雷位置、航向等信息后，通

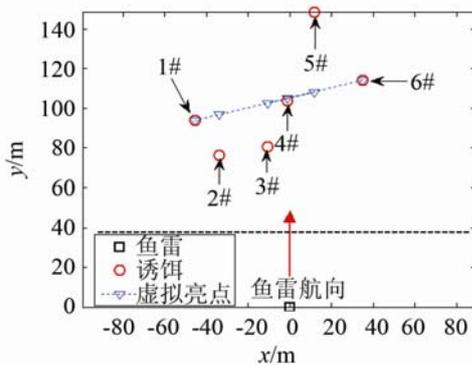


图 2 声诱饵实现尺度目标多亮点回波示意图
Fig.2 Decoys generating scale highlights echo

过适当延时可以在鱼雷航向垂直方向形成一个具有一定方位走向的虚拟尺度目标(图 2 虚线所示)。该虚拟尺度目标的最大长度由声诱饵位置坐标在鱼雷航向垂线上的投影距离相差最大的器材(图 2 中的 1# 和 6# 诱饵)控制，虚拟的尺度目标亮点分布在这两个诱饵(图 2 中的 1# 和 6# 诱饵)的连线上。为了模拟虚拟亮点的发射时序，图 2 中各诱饵需要进行相应的延时后再发射回波，延时的大小由各诱饵到对应虚拟亮点的距离决定。

图 3 是 20 个声诱饵随机分布的态势，假设这些声诱饵具备边收边发能力，收到鱼雷自导信号后立即转发，对产生的回波信号进行声成像处理，结果如图 4 所示，可看到符合图 3 态势的散乱回波亮点，这样的回波无法诱骗具有尺度识别能力的鱼雷。

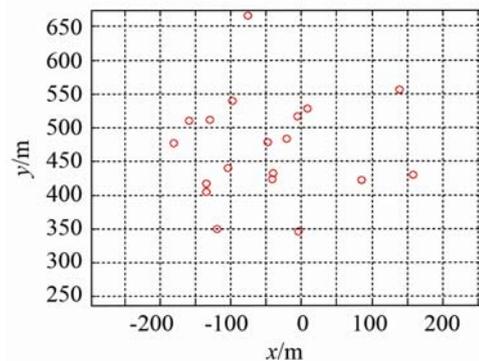


图 3 诱饵离散分布情况
Fig.3 Decoys distributing in space

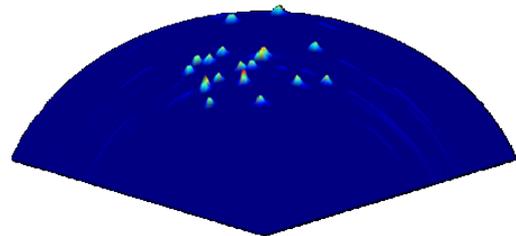


图 4 不进行时延控制，多个声诱饵产生回波处理结果
Fig.4 Echoes without time delay generated by decoys

若对每个诱饵转发自导信号的时间进行相应的延时，则回波信号处理结果如图 5 所示，从图 5 中可以看到鱼雷前方曾一字型分布的若干亮点，有明显的尺度目标特征。

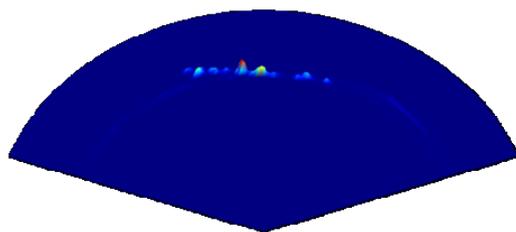


图 5 进行时延控制，多个声诱饵产生回波处理结果
Fig.5 Echoes with time delay generated by decoys

图 4、5 对比表明，利用离散分布的多个声诱饵通过信息交互进行有序控制发射回波延时实现尺度目标多亮点回波模拟是可行的，可以形成具有明显方位走向特征的虚拟尺度目标，可以用来对抗具有尺度识别能力的声自导鱼雷。

2.2 仿真算例

下面通过一个仿真例子说明利用离散分布的多个声诱饵进行尺度目标回波模拟的具体性能。

假设鱼雷发射的自导信号是频率为 18~22 kHz、脉冲宽度为 10 ms 的 LFM 信号，鱼雷自导头距离离散分布的多个声诱饵中心处 500 m，鱼雷向正 y 方向航行(图 6)。单个声诱饵布放散布误差为 75 m，利用 10 个散布的声诱饵形成的虚拟尺度目标长度为 106.88 m。仿真态势如图 6 所示。具体仿真参数设置如表 1 所示。

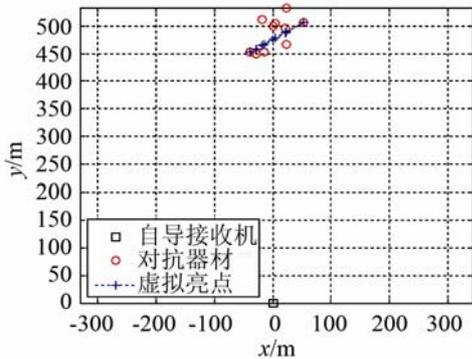


图 6 声诱饵实现尺度目标多亮点回波模拟仿真态势
Fig.6 Simulation state for size highlights echo

表 1 模拟尺度目标仿真参数设置
Table 1 Simulation parameters

参数类别	参数名称	参数值
发射信号	信号形式	LFM
	信号频率/kHz	18~22
	脉冲宽度/ms	10
接收基阵	接收信噪比/dB	5
	阵元个数	16
诱饵分布	阵元间距/mm	38
	个数	10
	中心距离/m	500
	散布误差/m	75

图 7 是鱼雷自导接收机波束输出最大方向的回波信号，可以看到回波明显展宽，符合多亮点回波时域展宽的特点。对图 7 所示回波进行亮点分离，结果如图 8 所示，可以明显看到有 10 个亮点回波，与虚拟的亮点个数一致。

图 9 是对回波进行方位、距离成像的结果，明显体现出鱼雷前方约 $-10^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 方位的一个尺度目标。

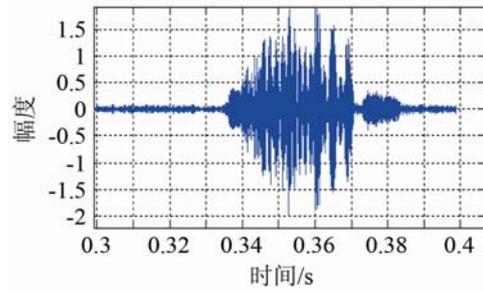


图 7 鱼雷自导最大波束方向时域波形
Fig.7 Waveform from the strongest beam of torpedo homing

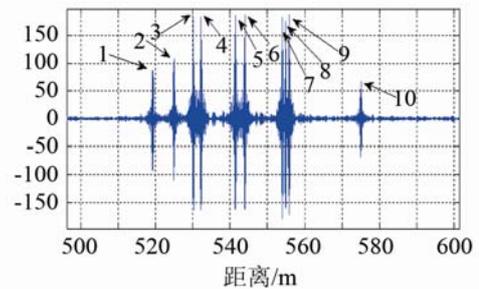


图 8 最大波束方向高分辨回波亮点分离
Fig.8 Thread model of echo highlights shown in Fig.7

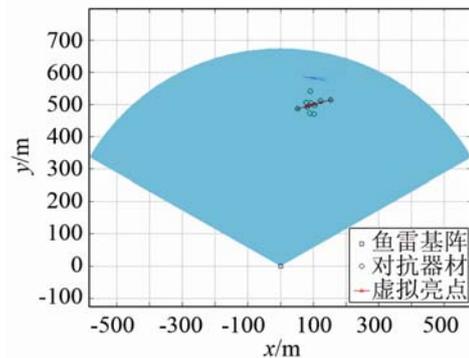


图 9 回波声成像结果
Fig.9 Result of echo imaging

根据图 10 所示的几何关系，目标的尺度可以由余弦公式(2)确定。

$$L = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 - 2D_1D_2 \cos \alpha} \tag{2}$$

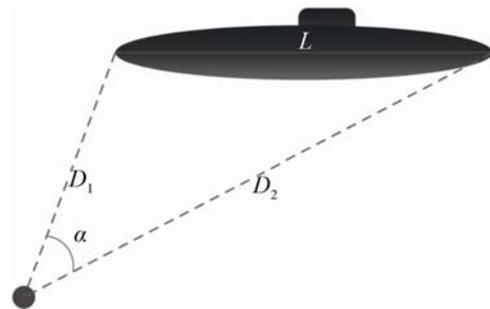


图 10 水下目标尺度估计原理图
Fig.10 The length estimation of a scale target

对目标尺度估计的精度由观测点到延展体目标两端的距离 D_1 、 D_2 和视向开角 α 决定。参数 D_1 、

D_2 和 α 可以通过主动声呐系统对尺度目标的多亮点回波进行参数估计获得。

按照公式(2),由图9可以计算目标的尺度为102.73 m,与虚拟的尺度目标长度106.88 m相当接近。

图9的回波成像结果表明,模拟的尺度目标多亮点回波甚至可以用于对抗声成像自导鱼雷。

利用尺度目标多亮点回波信号的方位走向进行尺度识别是一种较为常用的方法^[5,6]。图11是对仿真产生的虚拟尺度目标多亮点回波进行方位走向识别的结果,与虚拟的尺度目标实际走向基本一致(图12),也符合图6中虚拟尺度目标的态势,由此表明,仿真模拟的尺度目标多亮点回波模型是符合实际情况的。

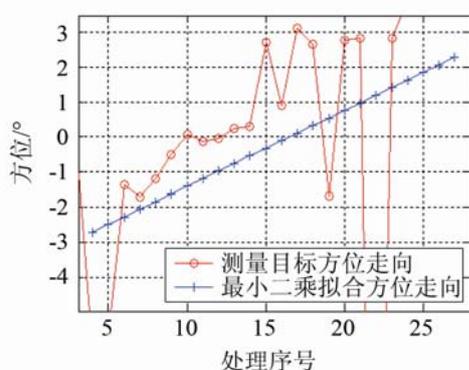


图11 依方位走向目标尺度识别
Fig.11 Estimation of target azimuth trend

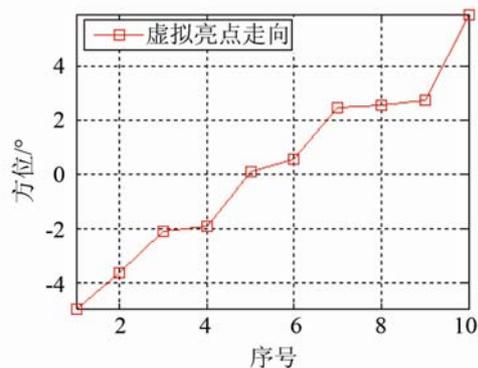


图12 虚拟亮点相对鱼雷的实际方位分布
Fig.12 Real azimuth trend of highlights

3 结 论

仿真结果表明,利用离散的多个声诱饵进行尺度目标回波模拟是可行的,可以对抗利用方位走向和声成像进行目标尺度识别的鱼雷。

需要说明的是,在利用离散的多个声诱饵进行尺度目标回波模拟时,需要精确控制各诱饵的发射时延,因此对声诱饵位置和鱼雷位置等信息的精确测量是该方法在实际工程应用前首先要解决的问题,也是该方法成功实施的关键技术,需要进一步研究解决。

参 考 文 献

- [1] 汤渭霖. 声呐目标回波的亮点模型[J]. 声学学报, 1994, 19(2): 92-100.
TANG Weilin. Highlight model of echoes from sonar target[J]. Acta Acustica, 1994, 19(2): 92-100.
- [2] 石敏, 陈立纲, 蒋兴舟, 等. 具有亮点和方位延展特征的线列阵声诱饵研究[J]. 海军工程大学学报, 2005, 17(1): 58-62.
SHI Min, CHEN Ligang, JIANG Xingzhou, et al. On linear array acoustic bait with light spot and azimuth-range extension feature[J]. Journal of Naval University of Engineering, 2005, 17(1): 58-62.
- [3] 崔怀林, 杨云川, 李志舜. 水下体目标回波空间方位特性仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(6): 1692-1695.
CUI Huailin, YANG Yunchuan, LI Zhishun. Research on spatial bearing characteristics simulation method of underwater target echo based on circular arc array[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(6): 1692-1695.
- [4] 周德善. 鱼雷自导技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009, 263.
ZHOU Deshan. Torpedo homing technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2009, 263.
- [5] 王明洲, 黄晓文, 郝重阳. 基于声学亮点特征的水下目标回波模型[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(1): 21-25.
WANG Mingzhou, HUANG Xiaowen, HAO Chongyang. Model of an underwater target based on target echo highlight structure[J]. Journal of System Simulation, 2003, 15(1): 21-25.
- [6] 马国强, 徐德民, 王新晓. 基于目标方位走向的水下目标尺度识别技术仿真研究[J]. 舰船科学技术, 2004, 26(3): 39-42.
MA Guoqiang, XU Demin, WANG Xinxiao. A study of simulation for underwater target scale identification with the technique of target azimuth tendency[J]. Ship Science and Technology, 2004, 26(3): 39-42.