

# 基于实录音频的吊放声呐模拟器设计与仿真

蒋立志, 刘旺锁, 姚直象

(海军工程大学电子工程学院, 湖北武汉 430033)

**摘要:** 针对多数模拟器无法营造逼真操作感受的问题, 提出了一种基于声呐实录音频的吊放声呐模拟器, 并给出仿真实例。该系统运用反波束形成技术, 基于实录音频合成具有真实听觉感受的阵元域信号, 采用真实的波束形成方法和信号处理方法, 能够得到与实际装备十分近似的视觉效果和听觉感受, 对声呐操作员的日常训练是十分有益的。

**关键词:** 实录音频; 吊放声呐; 模拟器; 逼真度

中图分类号: TN911.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-05-0399-04

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2015.05.004

## Design and simulation of recorded audio based dipping sonar simulator

JIANG Li-zhi, LIU Wang-suo, YAO Zhi-xiang

(Naval University of Engineering, Wuhan 430033, Hubei, China)

**Abstract:** To resolve the problem that many sonar simulators lack a certain realistic feeling in operation, a dipping sonar simulator based on recorded audio is put forward, and simulation results are given. By using inverse beamforming technology, array signals which have a realistic feeling are produced with recorded audio in element domain. With the true beamforming and signal processing methods used in actual sonar, the simulator has a sense of realistic feeling in vision and hearing just like real equipment, which is profitable for sonar operators' training.

**Key words:** recorded audio; dipping sonar; simulator; fidelity

## 0 引言

吊放声呐搜潜的优势十分明显<sup>[1]</sup>。吊放声呐的实装训练与考核组织复杂, 受保障条件和训练成本限制, 很难进行大量的日常训练。仿真模拟训练相比于实装演练, 具有便利、训练成本低和效益高等优势。目前, 多数吊放声呐模拟器采用仿真信号作为系统输入, 最终显示画面中背景和干扰过于干净, 目标十分容易被分辨和识别, 且未设置音频输出功能和采用声呐实际的显示格式, 无法营造出逼真的操作感受。本文介绍了一种基于声呐实录音频的吊放声呐模拟器: 该系统主动方式下从实录音频中提取目标回波信号、背景信号分类存储形成回波库和背景库, 被动方式下将实录辐射噪声信号分类存储形成舰船噪声库, 利用反波束形成技术<sup>[2]</sup>合成阵元域信号。合成的阵元域信号波束形成后转换为波束域信号, 使用真实的信号处理流程进行目标的

检测与参数估计, 最终以常用的显示方式输出至显示器。

## 1 基于实录音频的阵元域信号合成

仿真信号真实性欠佳, 背景和干扰过于干净。文献[3]提出一种在实际海上录制的背景信号中插入仿真目标回波的方法, 以此改善输出信号的逼真程度。文献[2]提出利用实录噪声信号, 通过反波束技术合成阵元域信号的方法, 其视觉和听觉逼真度较高。本文综合两种方法, 分别设计了模拟器主动方式和被动方式下的阵元域信号合成方案。

### 1.1 主动方式阵元域信号合成方案

图1给出模拟器主动方式下的阵元域信号合成方案。图中实线表示信号传递, 虚线表示控制信息传递。主动方式下阵元域信号的合成主要包括以下步骤:

(1) 实录音频信号预处理: 将实录信号提取出的回波按录制条件、目标类型分类存储形成回波库, 切掉回波的背景信号按录制条件分类存储形成背景库。

收稿日期: 2014-11-06; 修回日期: 2015-02-21

作者简介: 蒋立志(1989-), 男, 甘肃镇原人, 硕士研究生, 研究方向为水声装备与水下探测技术。

通讯作者: 蒋立志, E-mail: lizjiang@sina.com

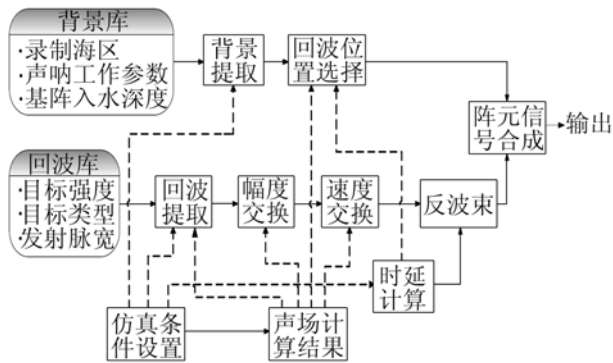


图1 主动方式阵元域信号合成方案

Fig.1 Schematic of signal synthesis in element domain (active mode)

(2) 仿真条件设置与声场计算: 仿真条件的设置包含仿真海区、声呐工作参数、目标类型、目标距离、目标方位等因素, 按照仿真条件进行声场计算, 计算结果给出回波幅度、回波多普勒频移、混响强度、回波出现时刻等元素。如果目标机动, 每个探测周期目标距离和目标方位会发生变化, 则要求每个周期都进行一次推算。

(3) 提取背景和回波: 按仿真条件从背景库为每个阵元抽取相异的背景信号, 以时间的不相关性代替空间不相关性。尽量使背景录制条件满足仿真条件, 不满足时选取相近条件下的背景信号代替。按仿真条件从回波库抽取一个回波信号, 不同探测周期的回波可以是不相同的。

(4) 回波特性变换: 按照声场计算的结果, 对提取的参考回波进行幅度变换和多普勒变换。

(5) 时延计算: 根据声场计算得到回波出现时刻作为声呐基阵参考点处回波出现时刻, 根据设置的信号入射方位和声呐基阵数学模型计算各阵元相对于参考点的时延, 两者相加得到各阵元处回波出现时刻。

(6) 反波束形成: 为了得到较高的时延精度, 先对背景和回波进行插值处理。根据时延计算的结果, 使变换后的回波叠加在阵元背景信号对应时刻, 得到各阵元的输出。回波叠加时, 需要对首尾部分进行平滑处理, 本文采用文献[4]的汉宁窗平滑方法。

## 1.2 被动方式阵元域信号合成方案

图2给出模拟器被动方式下的阵元域信号合成方案。图中实线表示信号传递, 虚线表示控制信息传递。被动方式基阵信号合成方案与主动方式类似, 以下步骤存在差异:

(1) 实录音频信号预处理: 实录舰船噪声信号按录制条件、目标类型分类存储形成舰船噪声库,

录制的海洋环境噪声按录制条件分类存储形成环境噪声库。

(2) 提取环境噪声和舰船噪声: 按仿真条件从环境噪声库为每个阵元抽取相异的背景信号, 以时间的不相关性代替空间不相关性。尽量使环境噪声录制条件满足仿真条件, 不满足时选取相近条件下的环境噪声代替。按仿真条件从噪声库抽取噪声信号。

(3) 反波束形成: 对提取的舰船噪声进行插值处理, 作为声呐基阵参考点接收信号, 在信号起始处分别插入与各阵元时延对应的零点得到各阵元输出信号, 零点数目等于时延与插值后的采样率的乘积, 零点数目不为整数时四舍五入取整。

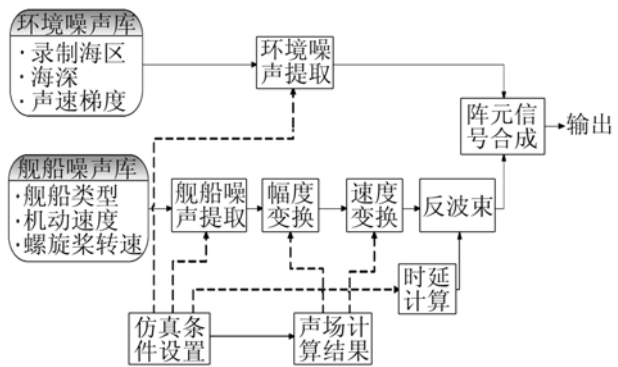


图2 被动方式阵元域信号合成方案

Fig.2 Schematic of signal synthesis in element domain (passive mode)

## 2 模拟器信号处理流程

### 2.1 主动方式信号处理流程

主动线性调频(Linear Frequency Modulation, LFM)方式下信号处理流程如图3所示, 主要步骤为:

(1) 基阵信号合成: 原理见1.1节。

(2) 频域波束形成器: 基阵为某圆柱型双层体积阵, 作为一个任意结构基阵, 采用凹槽噪声法<sup>[5]</sup>

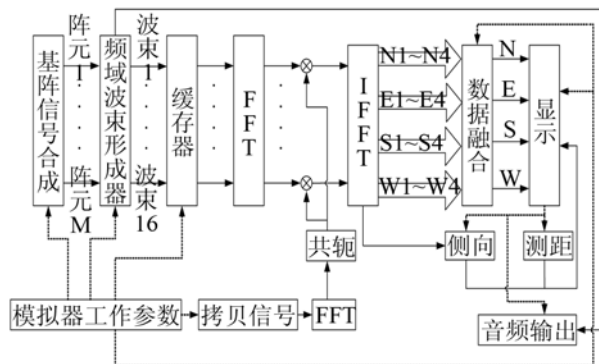


图3 主动LFM方式信号处理流程

Fig.3 Schematic of signal processing for active LFM mode

进行波束图设计，波束设计过程中迭代增益选取文献[6]中的改进方法，每次迭代运算增益都动态变化。参考文献[7]的波束设计指标见表 1。

表 1 波束设计指标  
Table 1 Technical specifications of beamforming

设计指标	详细要求
波束数目	$N_b=16$
波束指向	$\theta_m=(2m-1)\times 11.25^\circ, m=1, 2, \dots, 16$
-30 dB 束宽	$BW_{-3\text{dB}}=30^\circ$
旁瓣级	$L_{sl}\leq -20\text{ dB}$

(3) 频域多通道匹配滤波<sup>[8]</sup>：波束形成后，根据模拟器工作参数设置仿真产生拷贝信号，并进行频域多通道匹配滤波。

(4) 数据融合：为了使用有限的显示资源，需要进行数据压缩和抽取，本文采用基于 OR 规则数据融合方法<sup>[9]</sup>。按文献[10]的方法，将 16 个波束按地理方位(N、E、S、W)分为四个象限，每个象限内含四个波束。LFM 方式时，将各象限内四个波束的时域数据进行比较，每个象限都得到一个最大峰值，再判断出四个最大峰值中较大峰值所在的波束，最后将该波束的帧数据进行数据压缩并和相应的波束号一起送显，最终待显示波束数量由 16 个降低为 4 个。

(5) 显示：本文 LFM 方式时采用细距-目标距离 B 式显示<sup>[8]</sup>，细距表示帧内的精细距离。

主动单频脉冲(Continuous Wave, CW)方式时信号处理流程与 LFM 方式类似。区别在于信号处理时只采用多通道 FFT 分析，得到目标的速度信息，数据融合时输入为 FFT 后的频域数据。

### 2.2 被动方式信号处理流程

被动方式下信号处理流程如图 4 所示，信号处理时同样采用多通道 FFT 分析，为了得到较高的频率分辨率，可选择一根谱线，采用 ZOOM FFT 方法<sup>[8]</sup>进行精细分析。

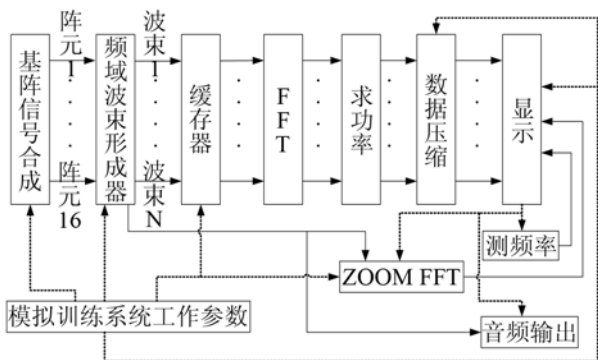


图 4 被动方式信号处理流程  
Fig.4 Schematic for signal processing in passive mode

### 2.3 仿真实例

设置声呐工作在 LFM 方式下，目标距离 26 链(约 4.82 km)，目标方位 33.75°，与 2 号波束方位相同，声速  $c=1500\text{ m/s}$ 。采用 1.1 节的方法合成阵元域信号，经过波束形成后，进行多通道匹配滤波处理，数据融合后得到四个象限的输出，其细距-目标距离 B 式显示如图 5 所示。由仿真结果可以看出：目标出现在 2 号波束所在的 N 象限，提取亮点所处位置，计算得到目标距离约为 25.9 链(约 4.80 km)，采用比幅法<sup>[11,12]</sup>测得目标方位为 33.7°，十分接近设定的仿真条件。同时，由于采用了实录背景信号，显示画面中近程区域混响干扰较强，远程区域混响干扰较弱，这与实际声呐的显示效果十分近似。

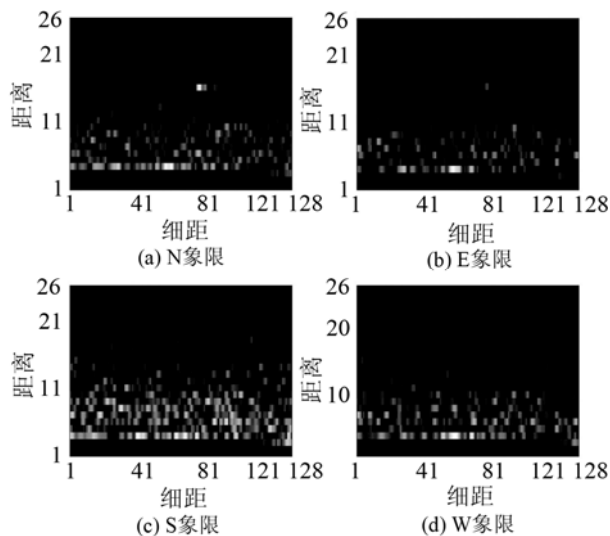


图 5 细距-目标距离的 B 式显示  
Fig.5 B-display for frame range vs. target Range

选取 2 号波束进行音频收听，输出音频信号经过频移和滤波后，其时域波形和时频分析如图 6 所示。可见，输出音频信号在时域和频域均保持了较

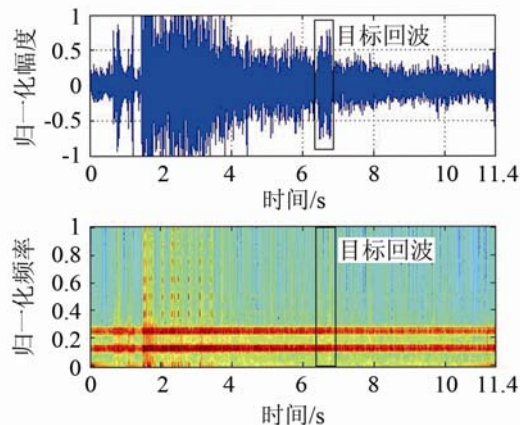


图 6 音频输出(LFM)  
Fig.6 Audio output (LFM)

丰富的成分, 具有较高自然度。

### 3 结 论

本文介绍了一种基于实录音频的吊放声呐模拟器设计与仿真, 设计出阵元域信号合成方案和信号处理流程, 给出主动 LFM 方式下的仿真实例。仿真结果表明:

(1) 就总体显示效果来说, LFM 方式下各象限的显示内容, 与实际声呐相同参数下的显示效果是十分近似的, 具有逼真的视觉效果和操作感受。

(2) 系统输出的音频信号在时域和频域均保持了较丰富的成分, 具有较高自然度。针对声呐操作员的听音测试表明, 系统输出的音频信号具有较逼真的听觉感受。

#### 参 考 文 献

- [1] 田坦. 声呐技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2000: 5-234.  
TIAN Tan. Sonar technology[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2000: 5-234.
- [2] 孙荣光, 马鑫, 王易川. 基于目标噪声的声呐信号仿真系统设计[J]. 信号处理, 2009, 25(8): 424-427.  
SUN Rongguang, MA Xin, WANG Yichuan. Design of sonar signal simulation system based on target noise[J]. Signal Processing, 2009, 25(8): 424-427.
- [3] Cour B La, Collins C, Landry J. Multi-everything sonar simulator (MESS)[C]// 9th International Conference on Information Fusion. 2006: 1-6.
- [4] 周树森. 基于语料库的歌声合成方法[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2008.  
ZHOU Shusen. A Corpus-based singing voice synthesis approach [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008.
- [5] 鄢社峰, 马远良. 传感器阵列波束优化设计及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009, 100-106.  
YAN Shefeng, MA Yuanliang. Sensor array beam pattern optimization theory with applications[M]. Beijing: Science Press, 2009, 100-106.
- [6] 杨益新. 声呐波束形成与波束域高分辨方位估计技术研究[D]. 西安: 西北工业大学博士学位论文, 2002.  
YANG Yixin. Studies on beamforming and beamspace high resolution bearing estimation techniques in sonar systems[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2002.
- [7] 王海军. 多波束形成算法和硬件实现研究[D]. 西安: 西北工业大学硕士学位论文, 2007.  
WANG Haijun. Studies on beamforming algorithm and the realization of the beamforming system[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2007.
- [8] 侯自强, 李贵斌. 声呐信号处理—原理与设备[M]. 北京: 海洋出版社, 1986: 104-783.  
HOU Ziqiang, LI Guibin. Sonar signal processing[M]. Beijing: Ocean Press, 1986: 104-783.
- [9] 崔宁周, 马远良, 王英民. 航空吊放声呐多通道检测的数据融合方法[J]. 西北工业大学学报, 1999, 17(3): 387-391.  
CUI Ningzhou, MA Yuanliang, WANG Yingmin. A data fusion method for multi-channel signal detection in airborne dipping sonar[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 1999, 17(3): 387-391.
- [10] 权玺平. 新型声呐显示器设计与显示处理技术研究[D]. 西安: 西北工业大学硕士学位论文, 2007.  
QUAN Xiping. Design of new type sonar display and research of display processing technology[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2007.
- [11] 李飞虎. 利用相邻三波束内插提高多波束定向精度[J]. 声学 & 电子工程, 1986(3): 29-31.  
LI Feihu. Bearing estimation via amplitude comparison of adjacent three beams[J]. Acoustics and Electronics, 1986(3): 29-31.
- [12] 王晓宇, 杨益新. 圆阵宽带恒定束宽波束输出的比幅法测向仿真研究[J]. 鱼雷技术, 2010, 18(1): 14-20.  
WANG Xiaoyu, YANG Yixin. Bearing estimation via amplitude comparison of wide-band constant beamwidth beams for circular array[J]. Torpedo Technology, 2010, 18(1): 14-20.