

【引用格式】谢志敏, 滕林苹, 朱玉, 等. 基于虚拟仪器的主动声探测测试系统设计[J]. 数字海洋与水下攻防, 2024, 7(5): 501-506.

基于虚拟仪器的主动声探测测试系统设计

谢志敏^{1, 2}, 滕林苹^{3, 4}, 朱玉^{3, 4}, 邓秀华^{3, 4}

(1. 哈尔滨工程大学 水声工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 军事海洋环境建设办公室, 北京 100161;

3. 中国船舶集团有限公司第七一〇研究所, 湖北 宜昌 443003;

4. 清江创新中心, 湖北 武汉 430200)

摘要 为了满足水下装备主动声探测不同的测试目的, 提高其开发效率, 提出并构建了一种基于虚拟仪器技术的主动声探测测试系统。软件采用模块和层次化设计, 基于 LabWindows/CVI 平台开发, 利用平台的信号检测、信号生成、信号模拟输出等模块, 可靠地实现了主动声探测信号的检测、目标回波的模拟、混响和干扰的生成与电子信号注入, 自动化程度高且参数设置灵活, 适应各种主动声探测的模拟测试和效能评估, 具有推广价值。

关键词 虚拟仪器; 主动声探测; 信号检测; 模拟输出

中图分类号 TJ630.1

文献标识码 A

文章编号 2096-5753(2024)05-0501-06

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2024.05.006

Design of a Measurement System for Active Acoustic Detection Based on Virtual Instrument

XIE Zhimin^{1, 2}, TENG Linping^{3, 4}, ZHU Yu^{3, 4}, DENG Xiuhua^{3, 4}

(1. College of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;

2. Military Ocean Environment Construction Office, Beijing 100161, China; 3. No. 710 R&D Institute,

CSSC, Yichang 443003, China; 4. Qingjiang Innovation Center, Wuhan 430200, China)

Abstract In order to meet various test objectives of active acoustic detection for underwater equipment and to improve its development efficiency, an measurement system for active acoustic detection based on virtual instrument is proposed in this paper. Its software adopts modularity and hierarchical structure, and is designed based on LabWindows/CVI platform. It uses modules of the platform, such as signal detection, signal generation, signal analog output, etc. Measurement of active acoustic detection signals, simulation of target echo, generation of reverberation and interference, and injection of electronic signals can be realized by this system. With high degree of automation and flexible parameter setting, it is suitable for simulation test and efficiency evaluation of various active acoustic detection.

Key words virtual instrument; active acoustic detection; signal detection; analog output

0 引言

水声信号在海水中传播距离远,携带信息丰富^[1-2],是水中兵器及水下无人航行器目标探测识别跟踪、导航控制与通信等重要信息来源^[3-4],利用水声信号对目标探测跟踪识别并控制起爆的装置可称之为声探测,声探测还可分为主动和被动声探测^[5]。主动声探测与被动引信结合,发现可疑目标后,主动发射声波进行目标确认,特别是对低噪声的潜艇水下航行器,主动声探测是不可或缺的^[6]。水下无人航行器利用水声信号进行导航控制与通信,一般主动发射声信号,对回波进行检测处理。海洋环境噪声、海面涌浪、海底底质等影响着主动声探测的探测距离、识别概率等性能参数^[7-8]。主动声探测设计更加复杂和智能化,其主要目的是从目标回波、时空变化的海洋环境干扰、多次反射折射产生的混响、邻弹干扰等复杂的信号中准确提取目标回波,并根据回波信息判断目标物理和运动属性^[9-10]。

主动声探测在无人平台应用、智能化、模块化

及多源信息融合等方面展现明显的发展势头,性能要求越来越高,应用越来越广泛^[11]。

主动声探测的设计包含发射波形、信号功率、信号频率、信号时间宽度、信号的带宽等的选择,将水下装备、不同的海洋环境、战术任务等有机结合,才能设计出最佳的主动声探测发挥适用的效能^[12]。显然,功能全面灵活的仿真测试系统在主动声探测设计开发、测试验证以及效能评估中是不可或缺的。

现有的主动声探测仿真测试系统,大都基于特定的分系统和特定的功能进行仿真测试,对海洋环境噪声、主动探测混响和各类干扰模拟及测试手段缺乏,而使得新的主动声探测系统开发缓慢且难以适应复杂的海洋环境,复杂海洋环境效能更是难以评估^[13]。

为了满足水中兵器及无人自主航行器主动声探测不同的测试目的,提高其开发效率,文章提出并构建了一种基于虚拟仪器技术的主动声探测测试仿真系统^[14],框图如图1所示。

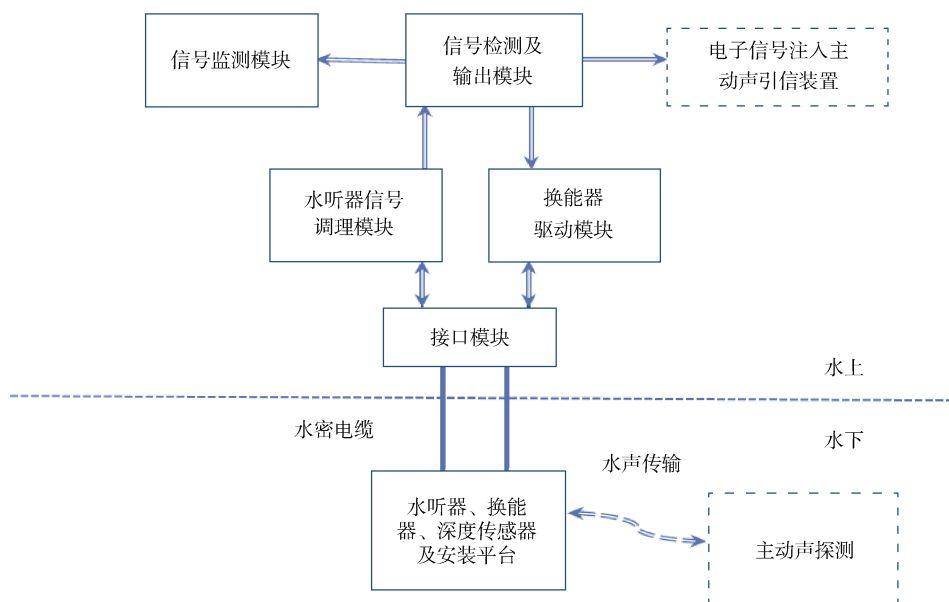


图1 主动声探测测试系统框图

Fig. 1 Block diagram of measurement system for active acoustic detection

软件采用模块化和层次化设计,基于LabWindows/CVI平台开发,利用平台的信号检测、信号生成、信号模拟输出等模块,可靠地实现了主动声探测信号的检测、目标回波的模拟、混响和干扰的生成与电子信号注入,参数设置灵活,自动化

程度大大提高。

1 主动声探测测试系统组成

主动声探测测试系统主要由信号检测及输出模块、信号监测模块、水听器信号调理模块、换能

器驱动模块和水下的水听器、换能器、深度传感器及安装平台组成。

信号检测及输出模块、信号监测模块采用信号采集及模拟信号输出板卡采集和输出信号, 负责信号检测, 产生规定的应答信号, 控制信号输出, 信号同时输出施加到主动声探测装置, 作为检验主动声探测的信号输入。信号处理及板卡控制采用 LabWindows/CVI 平台开发。

信号监测模块对水听器信号、深度信号和软件输出信号同步监测记录, 并用于数据回放。数据回放的作用是保证在相同的条件比较验证不同算法的主动声探测的性能。

水听器在水下接收主动声探测发射的主动探测信号, 调理模块对接收信号进行增益控制, 保证信号适当放大且不失真、不饱和。深度传感器测量平台深度测量。

本文选择 NI-9262 板卡, 具有 6 通道 1.25 MS/s/ch 同步模拟输出; 选择 NI 6353 同步采集板卡, 该板卡含 32 路 AI (模拟输入), 1.25 MS/s, 16 位; 4 路 AO (模拟输出), 2.86 MS/s, 16 位; 48 路数字 I/O (输入/输出); 4 路 32 位计数器/定时器; 选择 cdaq-9174USB 机箱。NI-9262、NI 6353 插到 cdaq-9174USB 机箱, 通过 USB 连接便携式笔记本。

LabWindows/CVI 平台产生信号并控制板卡将信号输出, 通过换能器信号驱动模块进行功率放大和阻抗匹配, 驱动换能器在水中发射信号, 模拟目标回波及混响等干扰。

2 系统软件设计

基于虚拟仪器的主动声探测测试系统软件是基于美国 NI 公司的 LabWindows/CVI 平台开发设计的。LabWindows/CVI 是一种交互式 C 语言开发平台, 除了常规的数据运算函数库, 还有丰富的信号产生、信号采集、数字信号处理及二维、三维图形函数库, 集成了各种专业的测控工具, 通过函数库, 还提供了优越的硬件接口和硬件控制功能, 适用于各种仿真测试、采集控制、故障定位分析及信息处理软件的开发^[15]。

基于虚拟仪器的主动声探测测试系统软件是面向对象的工程文件, 包含 3 部分: 若干源文件, 该部分是软件的主体; 头文件, 系统自动生成, 也

可以对头文件进行编辑, 主要用于说明系统引用的函数库, 定义全局变量; 用户界面文件, 用于软件操作控制和显示。

软件流程框图如图 2 所示。

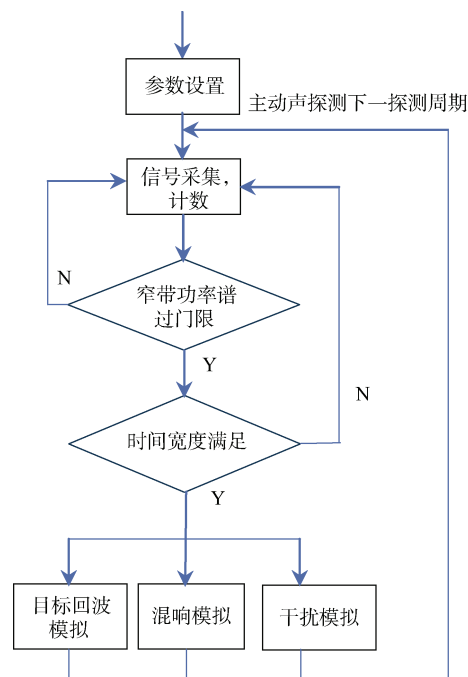


图 2 软件基本流程

Fig. 2 Basic process of software

参数设置模块包含信号检测参数的设置和信号输出参数设置。

检测参数包含窄带功率谱检测的中心频率 f 、频率带宽 B 、时间宽度 T 、功率谱门限等参数, 根据需要灵活设置以适应不同的主动声探测及不同的海洋环境。

信号输出参数包含回波波形、回波强度、回波宽度、多普勒频移等基本参数, 还包含各类信号输出的时延, 时延的变化按预先设定策略变化, 用来模拟水下装备与目标或障碍的空间态势的变化。

2.1 信号采集检测

信号采集检测采用 LabWindows/CVI 系统自带函数库 DAQmx library。其基本步骤及语句如下。

1) 设定通道、采样率及每通道采集点数。

```
chan="dev3/ai0: ai7";
```

```
rate=500000;
```

```
sampsPerChan=1000;
```

上述分别表示设定采集卡的 ai0~ai7 共 8 个通

道, 采集率 (rate) 为 500 kHz, 每通道点数 (sampsPerChan) 为 1 000 个, 即每通道采集 20 ms 的信号。

2) 生成采集任务。

首先产生 1 个采集任务 “taskHandle1”:

DAQmxCreateTask (“”, &taskHandle1);

设置第 1 步确定的采集通道:

DAQmxCreateAnalogVoltageChan (taskHandle1, chan, “”, DAQmx_Val_RSE, -10, +10, DAQmx_Val_Volts, NULL);

设置第 1 步确定的采集频率与每通道采集点数:

DAQmxCfgSampClkTiming (taskHandle1, “”, rate, DAQmx_Val_Rising, DAQmx_Val_ContSamps, sampsPerChan);

按上述步骤就设置好了采集参数, 可以启动采集任务。

3) 采集信号到数组。

DAQmxStartTask (taskHandle1);

DAQmxReadAnalogF64 (taskHandle1, sampsPerChan, 10.0, DAQmx_Val_GroupByChannel, ADda, 8*sampsPerChan, &numRead, NULL)

上述采集 8 通道的数据到数组 ADda, 每通道点数 sampsPerChan 个。

采集到信号后, 可对各通道数据进行加权、差分、波速形成等计算^[16]。本文构建能量比判断信号是否存在。首先计算求出 1 帧信号的功率谱 $X_N^2(k)$, 假如某主动声探测信号频率范围为 30 kHz~40 kHz, 在声信号频率内取 M 个谱值相加再作平均, 表示为

$$S = \sum_{30 \text{ kHz} \leq f \leq 40 \text{ kHz}} \frac{|X_M(k)|^2}{M} \quad (1)$$

在远离主动声信号频率处也取 M 个谱值, 相加再作平均表示噪声级:

$$N = \sum_{3 \text{ kHz} \leq f \leq 5 \text{ kHz}} \frac{|X_M(k)|^2}{M} \quad (2)$$

信噪比为

$$\text{SNR} = \frac{S}{N} = \frac{\sum_{30 \text{ kHz} \leq f \leq 40 \text{ kHz}} \frac{|X_M(k)|^2}{M}}{\sum_{3 \text{ kHz} \leq f \leq 5 \text{ kHz}} \frac{|X_M(k)|^2}{M}} \quad (3)$$

把 SNR 与设定的门限比较, 判断是否大于门限, 作为检测到主动声探测发射信号条件之一。

2.2 信号产生与输出

在利用主动声呐进行水下探测、跟踪目标或导航时, 声呐波形和功率通常是可以选择的, 发射波形对目标检测、跟踪、识别影响很大。通常, 海洋环境 (包括声速剖面、海深、底质)、战术任务 (远程警戒、探测、跟踪)、实际干扰背景 (噪声干扰、混响干扰) 是影响波形选择的主要因素。主动声呐发射信号波形的可选择参数主要有频率、功率及信号形式。其中每种信号从脉宽上又可分为长脉冲和短脉冲, 信号脉宽通常与距离量程匹配。主动声呐发射信号波形主要有单频信号、线性调频信号、双曲调频信号以及它们的各种组合形式^[17]。在实际的海洋环境下, 面临不同的战术任务, 如何选择合适的信号发射波形来获得最佳的声呐作战适用效能, 是一个具有实际意义的重要问题^[18]。

本文以线性调频举例说明信号的产生与输出。

线性调频信号也称为 chirp 信号, 表示为

$$s(t) = \sin \theta(t) = \sin \left(2\pi(f_0 t + kt^2/2) + \theta_0 \right) \quad (4)$$

式中: k 称为调频斜率; f_0 与 θ_0 分别为初始频率与初相位。如果要求信号频率在时间 T 内从 f_0 变化到 f_1 , 则有:

$$k = \frac{f_1 - f_0}{T} \quad (5)$$

信号瞬时频率为

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \theta(t)}{\partial t} = f_0 + kt \quad (6)$$

LabWindows/CVI 中调频信号的产生及输出基本过程如下。

1) 产生线性调频信号。

```
for (i=0; i<fsmk; i++)
{
    ttp3=2*3.1416*i*tpzxpl/2000000;
    tpkd=fsmk/2000;
    tpkd=tpkd/1000;
    tpkk=0.5*(tpplbh/tpkd);
    ttp4=(2*3.1416*i*i*tpkk/2000000)/2000000;
    ttp5=ttp3+ttp4;
```

```
wave[i]=tpfd*sin ( ttp5 );
```

```
}
```

上述程序产生了一定脉宽的线性调频信号并存储在数组 $\text{wave}[i]$ 中。上述程序文本中, tpzxp 为起始频率 f_0 , 2 000 000 为设定的板卡数据刷新率, fsmk 为信号的点数, 实际上代表了调频信号的脉宽 T 。

2) 信号输出。

利用 LabWindows/CVI 语句控制板卡, 将产生的线性调频信号 $\text{wave}[i]$ 按要求输出。

首先产生模拟输出任务:

```
DAQmxCreateTask ( "", &taskHandle );
```

设定通道数和信号范围:

```
DAQmxCreateAOVoltageChan ( taskHandle ,  
"Dev3/ao0", "", -10, +10, DAQmx_Val_Volts,  
NULL );
```

设定数据刷新率, 数据刷新率与生成信号时的刷新率应一致:

```
DAQmxCfgSampClkTiming ( taskHandle, "",  
2000000 , DAQmx_Val_Rising , DAQmx_Val_  
FiniteSamps, fsmk );
```

将 $\text{wave}[i]$ 写入板卡的缓冲区:

```
DAQmxWriteAnalogF64 ( taskHandle, fsmk,  
0, 10.0, DAQmx_Val_GroupByChannel, wave,  
&written, NULL );
```

启动模拟信号输出:

```
DAQmxStartTask ( taskHandle )
```

按上述步骤, 生成的线性调频信号就通过程序指定板卡的指定通道按设定的幅度正确输出了。

软件还可以方便地更改输出通道数和每通道输出信号的波形、时延、幅度以及时间宽度。生成的电子信号可以直接注入主动声探测装置, 也可以输出到换能器驱动模块, 进行功率放大后驱动发射换能器发射信号。

2.3 虚拟仪器用户操作面板

图 3 为本文设计的某主动声探测仿真测试系统用户界面, 用于虚拟仪器软件操作控制和显示。

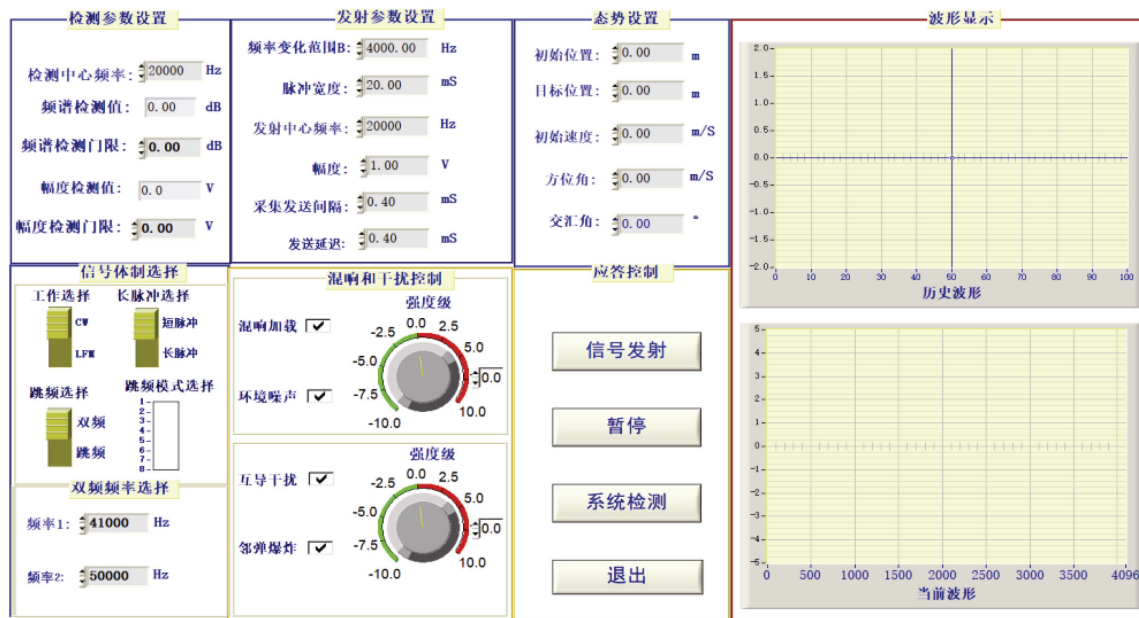


图 3 虚拟仪器用户操作面板
Fig. 3 User operation panel of virtual instrument

该系统包含 7 个模块: 水下装备与目标态势设置、检测参数设置、主动发射参数设置、信号体制选择、混响和干扰控制、应答控制及状态显示。通过多窗口设置, 灵活选择采集和发射波形和参数,

并模拟水下工作环境, 对主动声探测系统进行系统的仿真测试和评估, 系统还支持主动声探测系统及测试系统的状态数据保存和分析。系统运行稳定, 操作直观简便。

3 结束语

本文介绍的系统以 LabWindows/CVI 为软件开发平台, 主控计算机通过 LabWindows/CVI 提供的函数库对测试仪器进行控制, 完成检测与处理, 采集检测及信号模拟输出参数可以根据特定的主动声探测需求灵活设置, 适应各种主动声探测的仿真模拟与测试需求以及效能评估。该系统灵活模拟主动声探测的目标回波, 并生成不同的混响、干扰以检验主动声探测性能, 不仅可以用于主动声探测装置的实验室和消声水池测试, 还可以用于主动声探测装置的外场湖海试验, 评估主动声探测系统效能。

参考文献

- [1] 刘伯胜, 雷家煜. 水声学原理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2010.
- [2] 惠俊英, 生雪莉. 水下声信道[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2011.
- [3] 余湖清, 孙朴. 水雷总体技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [4] 蔡鲲, 陈焕杰. 水雷引信技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [5] 陈韶华. 水下自主声探测[M]. 北京: 国防工业出版社, 2020.
- [6] 王书玉, 张玮, 李磊. 水下无人运输平台关键技术及发展趋势[J]. 舰船科学技术, 2021, 43 (21): 6-10.
- [7] 中国船舶重工集团公司. 海军武器装备与海战场环境概论[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [8] 方书甲. 海洋环境对海军装备性能的影响分析[J]. 舰船科学技术, 2004, 26 (2): 5-10.
- [9] 孟庆玉, 张静远. 鱼雷作战效能分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [10] 颜冰, 董理, 张晓兵. 水雷作战效能分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2018.
- [11] 赵留平, 李环, 王鹏. 水下无人系统智能化关键技术的发展现状[J]. 无人系统技术, 2020, 3 (6): 12-24.
- [12] 钟宏伟. 国外无人水下航行器装备与技术现状及展望[J]. 水下无人系统学报, 2017, 25 (3): 215-225.
- [13] 燕雪峰, 张德平. 面向任务的体系效能评估[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.
- [14] 谢印忠, 张保洲. VC++平台下的虚拟仪器应用研究[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (1): 237-239.
- [15] 孙晓云. 基于 LabWindows/CVI 的虚拟仪器设计与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [16] 陈晓龙, 王家礼, 孙璐. 脉冲调制信号相位噪声测量中的功率谱估计方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2012, 39 (4): 138-143.
- [17] 周海会. 水下通信定位识别一体化波形优化方法[J]. 通讯世界, 2019, 26 (8): 216-217.
- [18] 王鹏, 潘笑, 温雯, 等. 水下通信定位导航技术分析 & 一体化展望[J]. 舰船科学技术, 2021, 43 (5): 134-138.

(责任编辑: 曹晓霖)