

# 水声探测器测试系统设计与实现

赵昕, 白志科, 朱健

(西安精密机械研究所, 西安 710075)

**摘要:** 为了提升水声探测性能, 其探测器不断改造升级, 传统利用各类标准台式仪器对其测试, 在成本、检测周期、操作复杂度等方面均有明显的增加, 鉴于以上问题, 设计了一套自动化测试系统; 阐述了测试系统设计原理、硬件设计方法、水声探测器各组件的测试软件设计方法; 在测试软件设计中, 对于信号幅度和频率计算方面, 引入了基于自功率谱函数的快捷计算方法; 对于 CAN 通信软件模块开发方面, 提出了一种 Database Editor 机制, 简化了 CAN 会话句柄创建过程, 并应用 stream 模式实现 CAN 通信, 提升了 CAN 帧数据接收效率; 对于短调制脉冲信号测试, 利用多线程结合通道触发的方法, 实现了准确测试; 采用该测试系统对水声探测器进行测试, 效果表明, 操作方便快捷、检测周期显著缩短、可靠稳定、完全达到了预期的效果。

**关键词:** 测试; 自功率谱函数; 数据库编辑器; 流; 短调制脉冲

## Design and Implementation of Underwater Acoustic Detection Measurement System

Zhao Xin, Bai Zhike, Zhu Jian

(Xi'an Precision Machinery Research Institute, Xi'an 710075, China)

**Abstract:** In order to improve the performance of underwater acoustic detection, its electronic devices continue to be modified and upgraded, the traditional use of various types of standard instruments for its detection, in terms of cost, detection cycle, operational complexity and other aspects have significantly increased, in view of the above problems, the design of a automated detection system. The design principle of the detection system, the hardware design method and the method of testing software set up by the underwater acoustic detection device are expounded. In the design of detection software, a database Editor mechanism is proposed for the development of CAN communication software module, which simplifies the process of CAN session handle creation and uses stream mode to realize CAN communication, which improves the efficiency of CAN frame data reception. For the short modulation pulse signal test, the accurate test is realized by using the multi-threaded method of channel trigger. Using the detection system to test the underwater acoustic detection device, the effect shows that the operation is convenient and fast, the detection cycle is significantly shortened, and the desired effect is fully achieved.

**Keywords:** measurement; self-power spectral function; Database Editor; stream; short modulation pulses

## 0 引言

近些年, 水声探测针对体积小、动态、活动海域广的目标需求, 这样带来了探测时间短、目标回波信号强度明显下降, 海平面反射信号等情况更为复杂, 以上情况使得水声探测难度加大, 最终导致水声探测器的接收机组件、数字机组件、发射机组件在性能和功能上均需要大幅提升, 从而整个水声探测器的复杂度有了明显增加, 此时再利用标准台式仪器对其进行测试, 需要使用中高端的示波器, 信号源, 经核算所需以上仪器总成本高昂, 同时在测试的过程中, 由于测试的项目众多, 指标分析更深入, 操作繁琐, 检测周期过长。

针对上述问题, 文章利用虚拟仪器技术开发了一套自动化测试系统, 系统硬件由基于 PXIe 总线的机箱、零槽、采集卡、CAN 卡、多路复用开关、单刀双掷开关、以及衰

减器和适配箱组成, 上位机测试软件利用 Labwindows/CVI<sup>[1-2]</sup>开发, 其中引入了自功率谱函数, 实现了对信号幅度和频率的快捷计算; 利用 Database Editor 机制回避了用代码创建 CAN 会话句柄的繁琐方式, 以及采用 stream 模式, 提高了 CAN 帧数据接收效率; 采用多线程结合通道触发的方法, 实现了对短调制脉冲信号准确测试; 通过以上设计开发, 很理想的完成了水声探测器的自动化测试。

## 1 系统原理设计

水声探测器测试系统主要是对接收机组件, 数字机组件, 发射机组件进行测试, 它需要 D/A、A/D、DI/O、多路复用开关, 单刀双掷开关, CAN 通信接口, 衰减器等功能设备, 原理框图如图 1 所示。

D/A 设备一方面用于模拟目标回波信号, 产生不同频率、不同幅度、不同回波延时和不同脉宽的目标反射回波, 另一方面模拟不同频率和不同幅度的目标辐射噪声, 经衰减后分别输出给接收机组件的输入通道; CAN 通信设备用于收发命令数据, 模拟水下航行体中探测与各个系统之间

收稿日期: 2020-03-14; 修回日期: 2020-04-01。

作者简介: 赵昕(1983-), 男, 陕西西安人, 硕士, 工程师, 主要从事测控技术和嵌入式方向的研究。

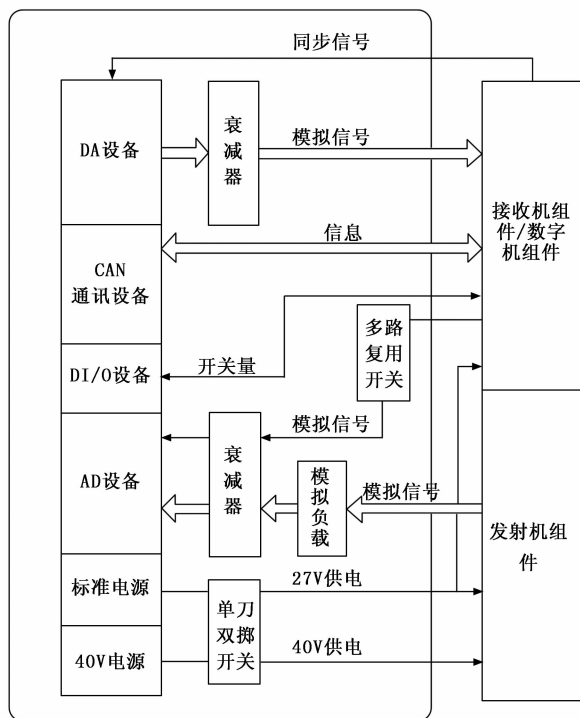


图 1 水声探测器测试系统原理

的信息交互; DI/O 设备主要采集数字机组件输出的指示信号, 以及输出数字控制信号作为接收机的数字激励信号; A/D 设备用于采集接收机组件输出的输出信号、数字机组件输出的指示信号、XOUT 信号、混频信号、发射机组件输出的发射信号; 多路复用开关用于切换被采集的通道; 单刀双掷开关实现控制两种电源供电。

## 2 系统硬件设计

在硬件设计方面, 主要是选用机箱、零槽、采集卡、CAN 卡、多路复用开关卡、单刀双掷开关卡。目前 PXIe 总线相比 PXI 总线在传输带宽和兼容性方面具有明显优势, 因此以上均选用基于 PXIe 总线的设备。采集卡的选择主要是依据: 生成模拟信号的频率范围、幅度范围、输出通道数; 被采集模拟信号的频率范围、幅度范围、采集通道数、采样率、采样精度; 数字信号输入输出的通道数以及是否需要同步采集。本设计采用了 2 块 4 个差分采集通道、16 bit 分辨率、单通道最高 4 MS/s、输入量程  $\pm 10$  V、24 通道 DI/O、可支持 56 MB 板载存储器的采集卡。在 CAN 卡方面, 按照标准配置即可, 因此选用了 1 块 1 M bit/s 的 CAN 接口卡。在多路复用开关方面, 因为处理的是微弱信号, 要求多路复用开关具有尽量低的阻抗, 另外参考每个采集通道要切换的被测通道数, 选择了具有 24x1 线制多路复用, 完整通路阻抗  $< 1 \Omega$  的多路复用卡。在单刀双掷开关卡方面, 由于需要能支持 40 V 供电, 以及需要为 3 个组件和整个装置供电, 采用了独立 4 路且最高 120 VDC, 120 VAC 的单刀双掷开关。在机箱零槽方面, 根据选用的板卡数量及考虑后期的可扩展性, 选择了 8 槽机箱; 根据处理

速度和存储需求, 采用了具有 2.3 GHz 双核 Intel Core i7-3610QE 处理器、8 GB ( $2 \times 4$  GB) DDR31600 MHz RAM、1 TB 的嵌入式零槽。

由于生成模拟信号的板卡最小输出信号幅度为 5.64 mVpp, 不满足激励的要求, 所以需要输出信号进行衰减, 这里采用了常用的  $\pi$  型电阻衰减网络对信号进行分压衰减, 同时衰减器要与探测器具有相同的检测通道, 各通道的衰减系数相同。另外设计了信号适配箱, 目的是将测试系统中各板卡的接线端子集成为电缆, 便于测试系统与探测器的连接; 同时可将模拟负载集成在内, 方便管理。

## 3 系统软件设计

水声探测器的测试软件设计是分别对接收机组件、数字机组件、发射机组件进行设计, 利用 labwindows/CVI 平台完成开发。

### 3.1 接收机组件测试软件设计

接收机测试软件流程如图 2 所示, 根据模拟回波参数, 编辑模拟回波数据, 对接收机组建上的增益用控制码进行设定, 并加载混频信号进行模拟回波信号调制<sup>[3]</sup>, 前期工作准备好后, 闭合第一通道开关, 加载模拟回波信号, 采集接收机输出信号, 在计算信号幅度和频率方面, 由于自功率谱函数<sup>[4]</sup>, 可同时直接得到所有信号幅度的有效值以及频谱上的频率间隔, 因有用信号幅度有效值最大, 所以只要再利用寻找最大值函数, 便可得到有用信号幅度有效值及其在所有信号中的序号, 序号乘以频率间隔既是频率, 因此采用自功率谱函数, 来计算输出信号幅度和频率参数比较简便, 测完一个通道后, 切换多路复用开关, 直到接收机输出通道全部测完为止。

具体实现方法是: 利用 GetCtrlval<sup>[5]</sup> 函数获取测试软件界面回波配置参数, 将板卡更新率除以回波频率获得回波每周期点数, 设置每周期点数倍数关系的输出波形总点数, 将每周期点数、总点数、信号幅度赋到 SineWave 函数对应的参数里, 编辑模拟回波数据; 控制码属于数字信号输出, 先后利用 DAQmxCreateTask 函数、DAQmxCreateDOChan 函数、DAQmxstartTask 函数创建 DO 任务, 配置 DO 任务, 开启 DO 任务, 然后调用 DAQmxWriteDigitalLine 函数将控制码数字信号进行输出; 混频信号按照编辑模拟回波数据方法, 完成数据编辑, 然后分别利用 DAQmxCreateTask 函数、DAQmxCreateAOChan 函数创建 AO 任务, 配置 AO 任务, 调用 DAQmxWriteAnalogF64 函数将编辑的波形数据下载到板卡里, 通过 DAQmxstartTask 函数将混频信号输出; 多路复用开关切换方面, 利用 niSwitch\_ InitwithTopology 函数, 并将该函数参数 topology 设置为需要的开关拓扑模式, 复位模式设置为不使能, 完成初始化开关板卡并获得开关句柄, 将该句柄赋给 niSwitch\_Connect 函数, 同时将闭合开关的左右结点标识符赋给此函数的相应参数, 完成闭合左右结点标识符对应的开关; 模拟回波信号输入按照混频信号输入编程方法, 将其输入给接收机组件; 设置采样点数及采样率, 调用 DAQmxReadAn-

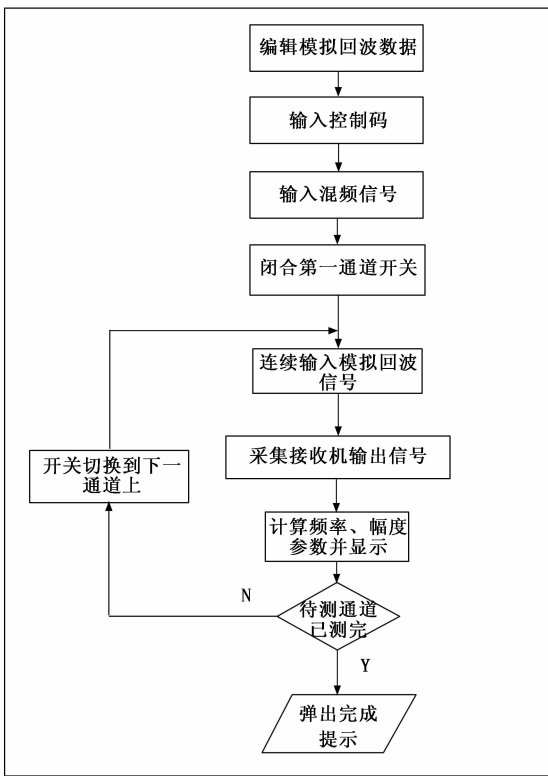


图 2 接收机组件测试软件流程

alogF64 将接收机输出信号进行采集, 将采集的数据, 采样点数, 采样率的倒数均赋给自功率谱函数 AutoPowerSpectrum 相应的参数, 同时将获取所有信号幅度有效值的数组指针和获得频谱上频率间隔的变量指针也赋给此函数的相应参数, 然后将获取所有信号幅度有效值的数组指针再赋给寻找最值的函数 MaxMin1D 的相应参数, 便找到此数组中的最大值, 并得到最大值在数组中的序号, 此最大值除以 $\sqrt{2}$ 便可得到有用信号幅度的峰值, 将最大值的序号乘以频率间隔便得到了有用信号的频率, 利用函数 SetTableCellVal 将值显示在测试软件界面对应的表格里, 如果待测通道没有测完, 继续切换开关, 只需要将 niSwitch\_Connect 函数的参数修改为对应开关的左右结点标识符, 如果所有通道已测试完成, 利用函数 MessagePopup 告知用户测试完成。

### 3.2 数字机组件测试软件设计

数字机组件测试软件流程与接收机组件测试软件流程一致, 只是加载的激励信号为接收机输出信号和激励命令, 测试的信号是 XOUT 信号, 指示信号、混频信号, 发射输入信号, 然后计算出各信号的幅度的峰值和频率, 对于模拟信号的输出, 开关切换, 模拟信号采集及计算与上节编程思路一致, 不再做赘述, 对于激励命令输出是通过 CAN<sup>[6-7]</sup> 接口卡来实现。

在 CAN 通信前, 需要创建 CAN 会话句柄<sup>[8]</sup>, 传统的创建首先要用 nxdbOpenDatabase 函数创建 Database 标识符, 然后将其传给 nxdbCreatObject 函数创建 Cluster 标识

符, 再将 Cluster 标识符传给 nxdbCreatObject 创建 CAN Frame 标识符, 最后还要调用 nxdbSetPropertyp 函数配置 CAN 帧格式、帧 ID、数据段长度, 这些完成后, 才能调用 nxCreateSession 函数来创建 CAN 会话, 因此这种用代码编写创建相对麻烦, 为了简化创建过程, 应用了 Database Editor 的方法, 具体实现方法是: 利用 Database Editor 创建一个 Database 文件, 然后直接利用菜单按钮继续创建 Cluster 和 CAN Frame, 便得到了图 3 所示界面, CAN 帧格式、帧 ID、数据段长度等参数可直接配置, 配置完成后, 点击保存该文件, 创建 CAN 会话时, 直接将该文件名赋给 nxCreateSession 函数, 便可得到 CAN 会话句柄。

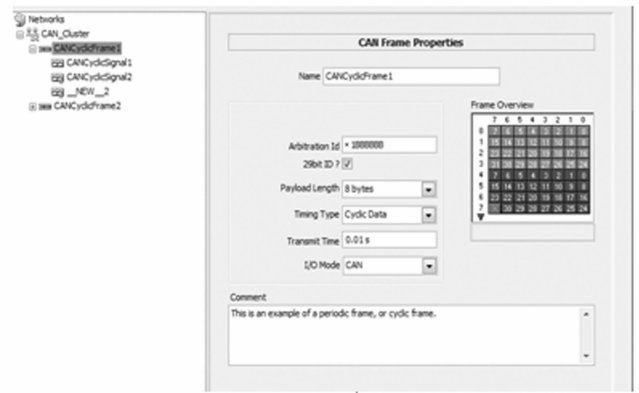


图 3 Database Editor 创建 CAN 会话句柄

在 CAN 通信时, 采用了 stream 模式。因 Stream 模式不是只读最近时刻且希望获取类型的 CAN 帧, 它不检测总线上是什么类型的 CAN 帧, 只检测总线上在某一时刻所有的 CAN 帧, 然后一次性取回, 后期用户再根据自身需求处理各类 CAN 帧, 由于本测试系统模拟水下航行体中探测与各个系统之间的信息交互, 所以对各系统发来的 CAN 帧数据都关心, 这样采用 stream 模式, 减少读取次数, 提高了接收效率。具体实现方法是: 在 nxCreateSession 函数中设置成 nxMode\_FrameInStream 模式, 并将帧类型参数设置为 NULL, 按照 CAN 协议设置一个结构体类型 struct can\_frame, 其成员包括: 时间戳、ID、帧类型、标志位、状态信息、数据段长度, 数据缓冲区。开辟一个该类型的结构体数组, 将创建的 CAN 会话句柄, 结构体数组首地址赋给 nxReadFrame, 调用此函数进行数据读取。

### 3.3 发射机组件测试软件设计

发射机组件测试主要是检测负载箱输出, 由于此输出为一段短调制脉冲信号, 激励信号加载后, 立即输出, 然后结束。为了能够准确测试此信号参数, 需要在调制脉冲信号内采集一段小于该信号脉宽的数据, 所以将采集状态用线程的方式先启动起来, 并当信号输出时, 再触发采集, 即通道触发采集<sup>[9]</sup>。发射机组件激励信号为方波信号, 因为负载箱输出有固定的判断正常与否的标准, 所以计算出负载箱输出信号的频率和幅度与判据比较, 得出信号输出正常与否。软件设计流程如图 4 所示。

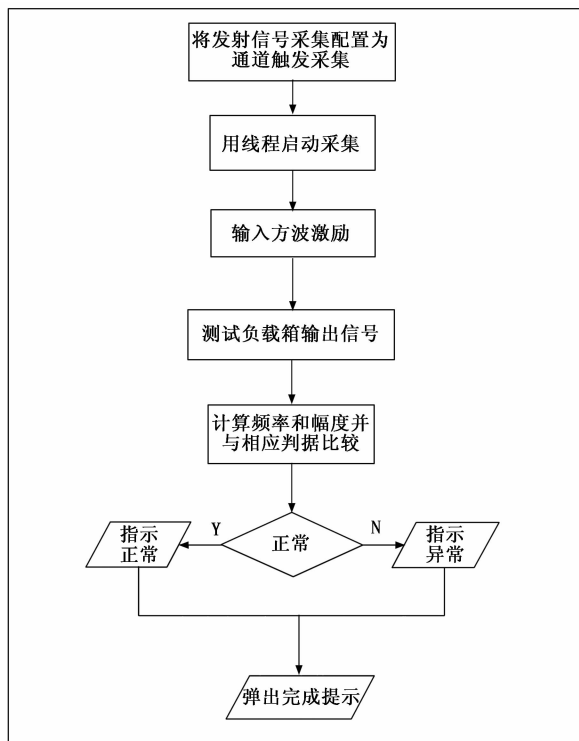


图4 发射机组件测试软件流程图

利用 DAQmxCfgAnlgEdgeStartTrig 函数配置通道触发, 将其触发源参数设置成本通道, 触发沿参数设置成上升沿, 触发电平根据输出幅度范围设置, 这样通道有信号并超过触发电平便开始采集。利用 CmtScheduleThreadPoolFunction 函数创建线程, 然后定义一个函数, 由此函数完成具体操作, 将该函数的指针赋给 CmtScheduleThreadPoolFunction 函数的参数, 因此要将 DAQmxReadAnalogF64 函数和计算输出信号的频率和幅度置于自定义的函数中。对于多线程编程<sup>[10]</sup>, 线程管理需考虑全面, 在整个发射机组件检测完毕后, 需要关闭线程, 释放相关资源, 但有时操作异常, 也导致程序即将退出, 因此要在启动线程后设置线程启动标识, 测试程序结束前, 如果判断出线程真实启动, 再进行线程关闭, 首先需要调用 CmtWaitForThreadPoolFunctionCompletion 函数等待线程结束, 然后调用函数 CmtReleaseThreadPoolFunctionID 将线程关闭。

#### 4 测试验证与分析

将各板卡的接线盒附件安装到板卡上, 板卡另一端用电缆将信号引出, 接到适配箱后面板上, 将电源也连接到后面板上, 前面板通过电缆与水声探测器相连, 运行上位机测试软件, 测试软件由接收机检查、数字机检查, 发射机检查 3 部分组成, 每部分有配置区域和显示区域, 显示通过表格形式完成, 在水声探测增加了图形显示。配置区域有测试手自一体功能, 在接收机测试和发射机测试中, 手动是各通道单独测试, 自动是各通道一次测完, 对于数

字机测试, 手动是针对单项输出信号测试, 自动是所有项输出信号测试, 另外配置成自动模式, 配置区及其他各项检测为不可操作模式, 防止错误操作。将各组件测试配置成自动, 分别点击接收机按钮、自动按钮, 负载箱输出按钮, 便完成了水声探测器各项指标的测试。

对以上测试进行分析, 利用文章提出的设计方案及开发方法, 能够精准地实现水声探测器所有指标测试, 同时大幅缩短了测试周期, 从过去需要近 50 分钟下降到仅需几分钟; 测试操作得到简化了, 并且具有误操作防止功能; 测试结果显示更加直观, 并更方便比较各通道的性能指标情况; 后期在外场工作中, 温度、湿度等环境因素变化的情况下, 多次利用本测试系统对水声探测器进行测试, 测试系统功能良好, 运行可靠, 无故障发生。工程应用效果相比基于传统的标准台式仪器明显更具优势。

#### 5 结束语

应用虚拟仪器技术, 开发了一套自动化测试系统, 实现了高效且快捷地对水声探测器的测试, 本文引入了自功率谱函数实现信号频率和幅度快速计算, 在 CAN 通信开发方面; 提出了应用 Database Editor 机制, 简化了 CAN 会话句柄的创建过程, 采用了 Stream 读取模式, 提升了 CAN 数据接收效率; 为了能够准确测试短调制脉冲信号, 提出了多线程结合通道触发的方法; 同时涵盖了模拟信号激励和采集、数字信号激励和采集、各类开关切换等测试测量领域里常用功能单元设计, 为利用 Labwindows/CVI 开发自动化测试系统提供了有价值的参考。

#### 参考文献:

- [1] 王建新, 隋美丽. Labwindows/CVI 虚拟仪器测试技术及工程应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [2] 孙晓云. 基于 Labwindows/CVI 虚拟仪器设计及应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- [3] 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.
- [4] 丁玉美, 高西全. 数字信号处理 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社 [M]. 2010.
- [5] Labwindows/CVI Library Reference Manual [S]. National Instruments Corporation, 2018.
- [6] 罗 峰, 孙泽昌. 汽车 CAN 总线系统原理、设计与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [7] 王邦继, 刘庆想, 李相强, 等. CAN 总线应用层协议的研究与实现 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47 (20): 14-16.
- [8] Labwindows/CVI Programmer Reference Manual [S]. National Instruments Corporation, 2018.
- [9] 周承仙, 李仰军, 武锦辉. 基于 Labwindows/CVI 的多路高速数据采集系统设计 [J]. 电子测量技术, 2007, 30 (12): 66-69.
- [10] 单体强, 陈 雷, 张万发. LabWindows/CVI 多线程技术的应用研究 [J]. 电子设计工程, 2012, 20 (15): 52-54.