

基于 LabWindows/CVI 的主动声呐信号发射机设计

杨广利 杨日杰 韩建辉 郑晓庆
(海军航空工程学院电子信息工程系 烟台 264001)

摘要:介绍了一种利用虚拟仪器技术,通过 NI 数据采集卡及后续放大电路产生主动声呐信号的方法。以产生单频矩形脉冲信号(CWP)为例,软件设计中采用定时器查询和信号触发的方式产生信号,相比现有采用产生脉冲矩阵并延时发射的办法,具有调整更加方便灵活,精度更高的优点。硬件设计采用稳定可靠的成熟器件,确保系统在外场环境工作的可靠性。通过多路选通放大电路实现宽范围的声源级发射,通过高保真的集成功率放大器减少信号在发射过程中的畸变和噪声的引入。相比传统发射机,微小的数据采集卡和放大电路可内置于工控机箱内,作为便携式声呐信号发射机。

关键词: LabWindows/CVI; 主动声呐信号; 数模转换; 功率放大

中图分类号: TN02 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80.20

Design of active sonar signal transmitter based on LabWindows/CVI

Yang Guangli Yang Rije Han Jianhui Zheng Xiaoqing

(Department of Electronic and Information Engineering, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: This paper gives a method using virtual instruments technology to generate sonar signal by NI DAQ card and amplifying circuit. This paper gives an example of generating CWP signal. In design of software, it generates signal by the way of timer querying and signal triggering. Existing method generates an array then delay to transmit. Method introduced in this paper, by contrast, is more flexible and has a higher degree of accuracy. Hardware design adopts stable and mature chips, to make sure the system can perform well in outfield. Multiple strobe circuits achieve a wide range of SL. High-fidelity integrated power amplifiers reduce the distortion of the signal during transmission and the introduction of noise. Compared with traditional sonar signal transmitter, the micro DAQ card and amplifying circuit can be put inside the industrial control computer, used as a portable sonar signal transmitter.

Keywords: LabWindows/CVI; active sonar signal; DAC; power amplification

1 引言

随着集成电路技术的发展,计算机数据处理能力得到不断提升,与此同时,数据采集卡的采样率、分辨率、输入输出通道数以及数据输出更新速率也都得到了改进和加强,这为虚拟仪器进一步取代传统仪器提供了更多的可能性^[1]。在常见的主动声呐信号中,单频矩形脉冲信号(CWP)是最常用的一种,它的生成和处理较线性调频脉冲信号和伪随机调相信号等更加简单^[2-3]。通过采用 NI 公司的数据采集卡和计算机终端产生的单频矩形脉冲信号,其发射周期、脉宽长度、信号频率及初始相位均精确可控,其已经用于工程项目实践,并取得了良好的效果。本设计可作为声信号测试人员外场测试时的配套设备。

2 硬件选型及设计

美国 NI(National Instruments)公司一直致力于虚拟仪器的研制和开发,将计算机和网络技术与传统的仪器技术相结合,开创了“软件即是机器”的先河。面向不同种类的用户,美国 NI 公司开发了多种数据采集(DAQ)模块,满足了不同人群的技术需求。由于高频电磁波在海水中会以极其快的速度衰减,所以在水下都采用主动声呐发射 1~100 kHz 的声波信号进行水声通信。根据奈奎斯特采样定律^[4],为了完美的恢复原始信号,采样频率须大于信号最高频率的两倍,而工程实践中,为了更好的恢复信号波形,采样率通常大于信号最高频率的 8 倍。同理,在 DA 转换过程中,数据的更新速率应大于需产生的模拟信号最

收稿日期:2017-03

高频率的8倍。因此,所选数据采集卡的采样率和数据更新速率应高于800 K/s。

如图1所示,NI USB-6361是一款由12 V直流供电,通过USB接口与计算机连接进行数据通信的高速数据采集卡。其具有16个模拟输入通道和16位的ADC分辨率。可以2.00 MS/s的速率进行单通道的数据采集。模拟输入端的最大工作电压可达±11 V。NI USB-6361具有2个模拟输出通道,有效输出量程为±10 V,其DAC分辨率同样可达16位,单通道输出时,最高更新速率可达2.86 MS/s。由此看出,NI USB-6361完全可以满足我们对信号采样及信号生成的要求^[5]。同时NI USB-6361还具有24个数字输出通道,其中的16个通道可作为PFI(programmable function interface)接口,这类接口通常作为信号的输入端,也可以作为某种特殊需求的输出端^[6]。在系统设计中将其中一个通道作为触发信号的输出端,一个通道作为触发信号的输入端。设计流程如图2所示。



图1 NI USB-6361 数据采集卡

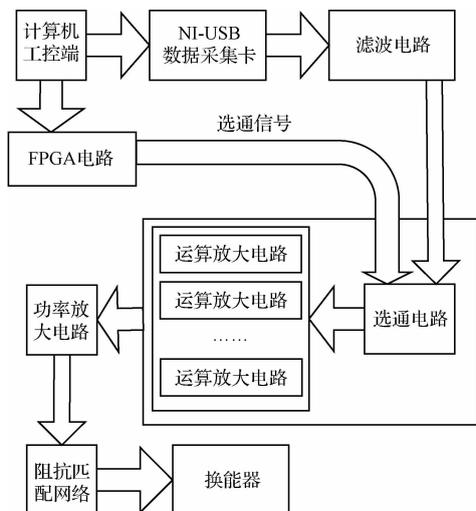


图2 系统设计流程

整个系统的硬件组成包括计算机工控端、NI 数据采集卡、滤波电路、数据选通电路、多路运算放大电路、功率放大电路和阻抗匹配网络。

其中,计算机工控端以及 NI 数据采集卡主要完成声呐信号的生成,后续硬件电路主要完成根据声源级的不同进行相应增益的放大。

3 LabWindows/CVI 程序设计

声呐中常用的信号有 CWP 信号、线性调频脉冲信号(LFM)、双曲线调频脉冲信号(HFM)、编码调相脉冲信号(CMP)和伪随机信号(PRN)以及它们的各种组合形式^[7]。本文以 CWP 信号的产生为例进行介绍。

CWP 信号又称余弦波脉冲信号,是声呐信号中最简单也是最常用的一种,它生成简单,对信号产生设备的要求性比较低,同时处理容易,接收机接收到信号后只需要进行放大和滤波便可进行下一步处理^[8]。

CWP 信号的复数形式如式(1)所示。

$$u(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) e^{j2\pi f_0 t} \quad (1)$$

式中: T 是方波包络宽度, f_0 是载频频率。相应的复数谱如式(2)所示。

$$U(f) = \sqrt{T} \text{sinc}[\pi(f - f_0)T] \quad (2)$$

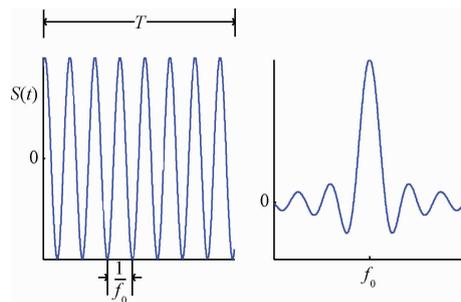


图3 CWP 信号的时域和频域波形

CWP 信号主要参数包括发射周期 T ,更新速率 f_n ,脉冲宽度 t ,脉冲信号频率 f 以及初始相位 φ 。脉冲信号的幅度 A 与后续放大电路相结合控制声呐信号发射声源级的大小^[9]。前端信号生成系统的设计流程如图4所示。

3.1 程序设计

设计的思路是根据输入的频率 f 和初始相位 φ 以及幅度 A 可以产生相应的脉冲信号,通过确定更新速率和脉冲宽度 t ,计算出一个周期内所需产生的总的脉冲点数^[10]。根据信号的发射周期 T ,产生一定占空,周期为 T 的方波作为发射的触发信号,每当方波的上升沿到来时输出脉冲信号。

主要用到的信号处理函数如下:

1) 占空比可变的方波信号

产生由频率和占空比定义的数字脉冲信号并通过一路 PFI 通道输出^[11]。利用此函数产生主动声呐信号的方

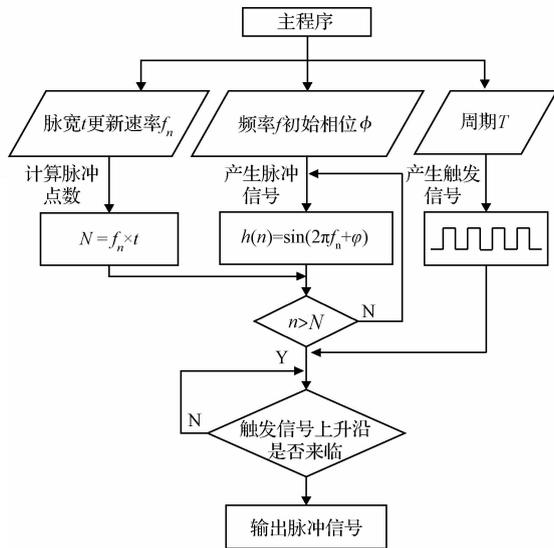


图4 脉冲信号生成流程

波触发信号,其周期与主动声呐信号的周期相同。由于后续程序中设置为方波信号的上升沿触发,因此对占空比的设置没有额外的要求,只需要保证有稳定的上升沿信号即可。但是为了测试过程中便于观察脉冲信号是否具有足够的脉宽,可以将占空比设置为:

$$\text{占空比} = \frac{\text{脉冲宽度 } t}{\text{信号周期 } T} \quad (3)$$

2) 自定义脉冲产生函数

根据信号的更新速率以及脉冲宽度两个参数,计算出一个信号周期内需要产生的数字脉冲点数,并在程序内为其设置动态存储区域。同时根据频率,幅度和相位信息,生成离散的余弦波信号。

3) 配置边沿触发函数

将此前产生的触发信号通过另一路 PFI 通道输入作为触发源的调用对象,触发沿定义为上升沿^[12]。

4) 定时器控件

触发信号的上升沿监测还需要用到定时器控件,定时器的查询间隔时间应小于声呐信号的发射周期,确保不会漏发脉冲信号^[13]。

界面设计如图5所示。

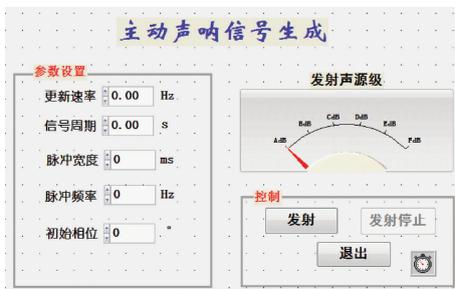


图5 LabWindows/CVI 界面设计

3.2 测试结果

通过 Tek MDO3024 数字示波器对生成信号进行观

察和测量。将声呐信号通过通道 1 输入;为便于观测,将触发方波信号通过通道 2 输入作为参照。将信号周期设为 2 s。如图 6 所示。

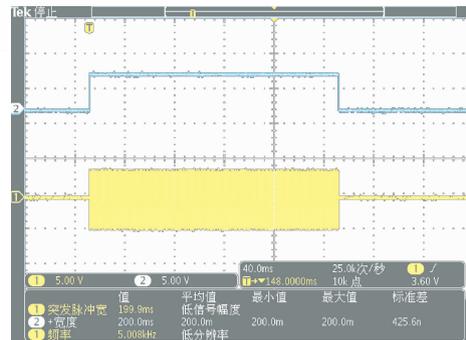


图6 数据采集卡输出信号

测试结果表明,声呐脉冲信号在触发信号的上升沿到来时能够及时响应,脉冲宽度与触发信号的高电平保持时间基本一致。脉冲信号的频率和相位精度也满足声呐信号发射要求^[14]。

由表 1 数据看出,生成的声呐信号各项参数精确度能较好地满足工程需求。

表 1 测试结果与理论误差

组数	频率误差/kHz	脉宽误差/ms	周期误差/ms
1	+0.008	-0.10	-0.07
2	+0.011	-0.08	-0.06
3	-0.013	+0.05	-0.03
4	-0.006	-0.09	-0.10
5	-0.009	-0.10	-0.08
6	+0.006	+0.09	+0.05

4 发射电路设计

通过 NI USB-6361 输出的信号为±10 V 以内的模拟信号,为驱动换能器工作,并实现不同的发射声源级,需将信号进行不同增益的放大。

为使系统完成宽范围声源级的发射,设计了 6 路运算放大电路,每路均通过电位器的调节精确控制放大倍数,从而进行 6 个不同声源级的发射。计算机工控端通过 LabWindows/CVI 读取声源级参数,经 FPGA 电路将选通信号送至选通电路。FPGA 电路可在后续信号接收程序处理中进行功能扩展,提供时序和控制信号。多路放大电路可以在此基础上通过并联完成。

不同声源级信号经过运算放大器放大后,统一经由功率放大器进行功率放大。系统中采用某集成功率放大器。其具有线性好、输出功率大,外围电路简单等特点,且失真度仅为 0.01%。器件自身还具有输入保护,受控启动,热限制及动态安全范围保护等功能^[15]。

信号经过匹配网络后,直接与换能器进行相连。为便于观测信号的起振和反射回波情况,将脉冲宽度设为10 ms。换能器驱动信号如图7所示。

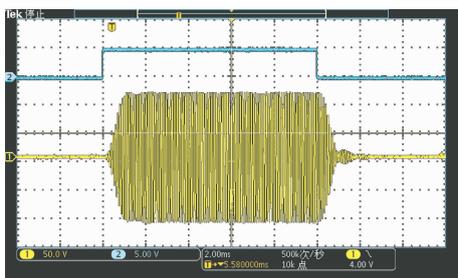


图7 换能器驱动信号

通过图7可以看出主动声呐信号的起振较触发信号的上升沿约有0.1 ms的延迟,从开始起振到完全起振的时间约为0.4 ms,在触发信号消失后约0.4 ms声呐信号回归零,而后又会紧接着出现一个约0.5 ms的微小起振然后最终回归零点,在工程实践中,其对实际应用影响较小。

自NI数据采集卡输出信号至换能器,中间包括滤波电路,选通电路,运算放大电路,功率放大电路和阻抗匹配网络,所以,信号的延迟是必然的。但是信号的脉冲宽度、频率、相位、发射周期等都能很好的与数据采集卡输出的脉冲信号保持一致。

5 结论

经实际测试,本设计能根据各项输入参数比较精确的生成主动声呐信号,可以为主动声呐设计,水声计量测试,靶标设计等提供参考。另外,本系统也有待改进之处,在声呐脉冲信号发射完毕时,立即产生微小的反射回波会对系统的精确度产生影响,在以后的优化中应该消除或减小反射回波所造成的干扰。

参考文献

- [1] 薄志峰. 基于LabWindows/CVI的电动舵机自动化测试系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(5): 66-69.
- [2] 姜昆, 杨日杰, 郑晓庆, 等. 基于FPGA的主动全向浮标探测信号模拟[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(11): 94-97, 102.

作者简介

- [3] 王鹏. 基于MEMS矢量水听器阵列的声目标定向定位技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2013.
- [4] 盖建新. 基于MWC的稀疏宽带信号亚奈奎斯特采样技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [5] 费莉, 王博, 刘述喜. 基于LabVIEW的数据采集及测试系统设计[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学, 2012, 26(10): 38-41.
- [6] 支丹阳, 杜秀兰, 赵靖, 等. 基于便携式脑电信号采集器的脑-机器人交互系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(5): 694-701.
- [7] 罗光成, 张丹. 反潜直升机多段往返检查搜潜建模与仿真技术研究[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(10): 34-36.
- [8] 杨日杰, 周旭, 张林琳. 主动全向声纳浮标跟踪潜艇优化布放方法[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(10): 2249-2253.
- [9] 翟厚曦, 江泽林, 张鹏飞, 等. 一种合成孔径声呐图像目标分割方法[J]. 仪器仪表学报, 2016(4): 887-894.
- [10] 金惠明, 李建勋. 反潜直升机吊放声纳搜潜策略分析[J]. 电光与控制, 2011, 18(8): 26-28, 39.
- [11] 王良. 基于虚拟仪器的舵电位器测试系统设计与实现[D]. 太原: 中北大学, 2010.
- [12] 李寒冰, 黄卫东, 李瑞亮. 固体火箭发动机舰载环境无线监测系统设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(10): 56-59.
- [13] 程金光, 张荣福, 郁浩, 等. 基于LabVIEW的声音数据采集分析系统[J]. 电子测量技术, 2016, 39(2): 94-98.
- [14] 王璇. 多采样率电机测试信号采集系统的研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2012.
- [15] 徐彬, 芮国胜, 陈必然. 一种基于频移滤波器的混合信号盲恢复算法[J]. 电讯技术, 2011, 51(11): 31-36.

杨广利, 男, 1993年出生, 工学硕士, 主要研究方向为反潜信息处理。

E-mail: yangguagnli518@163.com

杨日杰, 1963年出生, 博士研究生导师, 教授, 主要研究方向为水声工程。