

# 基于 USB 总线的机载多脉冲激光 雷达产品测试系统研制

王杰, 马鹏阁

(郑州航空工业管理学院, 郑州 450015)

**摘要:** 针对现有的机载激光雷达产品测试系统不能模拟特定信噪比, 且系统使用复杂的问题, 开发了基于 USB 总线的机载多脉冲激光雷达产品测试系统; 测控软件可以设定信噪比、脉冲幅值、脉冲周期等参数, 并根据静态测距和动态测距的实际需要, 生成静态和动态模拟数据; 另外, 测试系统还能够采集外场数据, 并在测控计算机上存储和分析; 采集和生成的数据经过 USB 总线发送给基于 FPGA+高速 D/A 转换器架构的数据转换器, 再输出给激光雷达产品, 保证了数据传输的高速性和灵活性; 经过测试表明, 信噪比在 3~9 的情况下, 产生回波信号的距离误差控制在 1% 以内, 信号幅值误差控制在 0.5% 以内; 测试系统的各项指标都满足实际需要, 为激光雷达产品调试提供了良好的模拟仿真平台。

**关键词:** USB; 机载多脉冲激光雷达; 测试系统; FPGA; 数据采集; 目标模拟

## Development of Airborne Multiple Impulse Laser Radar Test System Based on USB

Wang Jie, Ma Pengge

(Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450015, China)

**Abstract:** Because the existing testing system of airborne laser radar products can not set signal-to-noise ratio and is complex, Laser radar product test system for airborne pulse is developed based on USB bus. Monitoring software can set signal to noise ratio, pulse amplitude, pulse cycle parameters, and generate static and dynamic simulation data according to the actual needs of static and dynamic range. In addition, the test system can acquire field data, and store in the control computer. Acquisition and generation of data through the USB bus are sent to data converter based on FPGA+ high speed D/A converter architecture, then are output to laser radar products, which ensure the fast and flexible data transmission. Test result show that in the case of 3~9 SNR the echo signal distance error is controlled within 1% and the amplitude of the signal error is controlled within 0.5%. testing system can meet the actual needs, provide a good platform for simulation of laser radar products debug.

**Keywords:** USB; airborne multiple impulse laser radar; test system; FPGA; data acquisition; target simulation

## 0 引言

机载多脉冲激光雷达用于对远程目标进行精确测距, 具有原理和结构比较简单、测程远、体积小、功耗小等优点, 在现代军事中对各种战场目标测距应用广泛<sup>[1]</sup>。机载多脉冲激光雷达通过在一个脉冲重复周期内对同一位置目标连续照射多次得到多个脉冲回波信号, 然后将多个回波信号叠加处理, 提高信噪比, 从而更精确地计算出目标距离<sup>[2-3]</sup>。

对机载激光雷达产品性能的评价和验证至关重要, 然而, 由于环境的限制, 无法都通过外场测试。因此需要能够提供模拟真实环境的激光雷达产品测试系统。国内外目前主要通过激光目标模拟器, 通过消光比的方法, 加延时电路给激光雷达产品产生一定脉宽并能模拟实际大气状态的回波信号, 以此来验证激光雷达产品的性能。但是这些方法不能模拟特定信噪比的回波信号, 且测试系统比较复杂<sup>[4-8]</sup>。

本文提出了一种基于 USB 总线的机载激光雷达产品测试

系统。测试系统可以采集外场的实际信号并存储, 也可以根据特定的信噪比等参数要求产生静态和动态的目标模拟数据, 通过 USB 总线发送给信号转换器, 转换成模拟回波信号给激光雷达产品, 从而验证产品性能。

## 1 系统总体设计

测试系统的组成如图 1 所示。测控系统主要由安装有测控软件的工业控制计算机和数据转换器构成。

测控软件的主要功能如下:

- (1) 生成目标模拟数据;
- (2) 控制数据转换器采集外场信号, 并在计算机上存储;
- (3) 把采集的数据和生成的数据回放给数据转换器, 再给激光雷达产品;

(4) 通过 422 总线可以设置激光雷达产品的工作模式, 并能接收激光雷达产品的回传数据。

数据转换器的主要功能如下:

- (1) 采集外场的主回波信号;
- (2) 把计算机传送的数据, 转换为模拟信号给激光雷达产品;
- (3) 控制激光雷达的脉冲类型, 复位等。

测试系统的工作流程如下:

- (1) 首先在测控软件中进行设置模拟回波与主波的距离间

收稿日期: 2014-01-07; 修回日期: 2014-03-07。

基金项目: 国家自然科学基金(70971120); 光电控制技术重点实验室航空科学基金(20105155003)。

作者简介: 王杰(1978-), 男, 河南潢川人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事信号处理、计算机软件方向的研究。

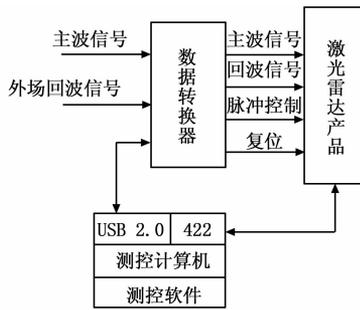


图 1 测试系统组成

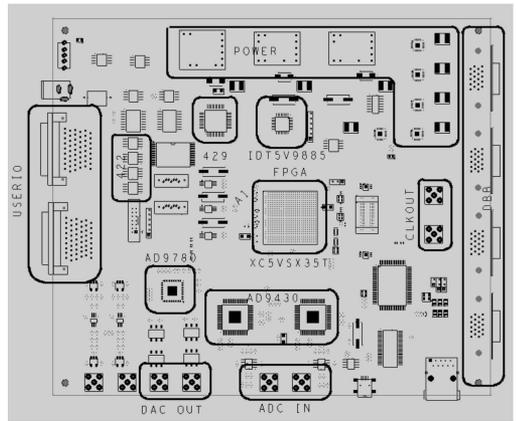


图 2 数据转换器电路板布局

隔、信噪比及模拟信号频率范围这些参数。

(2) 根据信噪比产生随机高斯噪声信号与设定好距离信息的脉冲信号叠加后的模拟回波信号数据，并附加模拟信号频率要求、单/多脉冲模式信息生成数据文件发送给数据转换器。通过数据转换器也可以采集外场主回波信号，并传送给计算机存储成数据文件。

(3) 数据转换器收到数据文件后，根据单/多模式及脉冲重复频率等要求由 FPGA 调度产生模拟主波信号、复位信号及单/多脉冲控制信号，并将回波信号数据经 D/A 及防镜像滤波后输出模拟回波信号的波形。

(4) 被测产品在接收到数字转换器的激励信号及模拟回波信号后，进行处理并将距离数据信息经 422 接口传至计算机。

(5) 测控软件上显示其测的结果，并可与设定距离信息相比较，从而实现模拟测距。

## 2 测试系统硬件设计

测试系统硬件主要是数据转换器的设计，电路板结构布局如图 2 所示。电路板采用 16 层印制板。电路板的核心器件是 FPGA 芯片 Vertex-5 SX35T，用于连接 DDR 存储器，通过高速并行 LVDS 接口连接 ADC 及 DAC，控制专用芯片实现 RS-422 总线接口。FPGA 乘法器资源 192 个，RAM 资源 3 544 000 bit，DSP 模块 192 个，LUTs 21 000 个，可配置 I/O 管脚 360 个，工作频率 330 MHz。ADC 选用 AD9430，12 位、200 MHz 采样率的模数转换器。采用 3.3 V 单电源供电，可提供 CMOS 和 LVDS 两种接口模式，输出数据格式二进制补码或偏移二进制。DAC 选用 AD9780，双通道、12-Bit、LVDS 接口，600 MSPS 数模转换器。422 总线选用 MAX3490，采用 3.3 V 电源供电，最高支持 12 Mbps 波特率。USB 接口芯片选用 CY7C68001，支持 USB2.0 协议，可以工作在全速或高速模式。该芯片具有 4 k 的缓冲空间，可选择 8 位和 16 位两种总线模式。时钟管理芯片选用 IDT5V9885，输入频率范围 1~400 MHz，输出频率范围 4.9 kHz~500 MHz；输入电平支持 3.3VLVTTL/LVCMOS，输出电平支持 3.3VLVTTL/LVCMOS，LVPECL 和 LVDS。

数据转换器在实现数据采集过程如下：外场传来的回波模拟信号在信号预处理后经 A/D 采样成数字信号，之后送往 FIFO 中缓存。FPGA 在外同步主波信号触发下控制向 FIFO 中写入采样数据。当 FIFO 存满数据后，向 FPGA 送出满信号。FPGA 收到满信号后开始以 DMA 方式读取 FIFO 中数据到内部数据 RAM。读取完毕后将数据按照一定格式打包经由 USB 传送至测控计算机。

其中，信号预处理电路包括阻抗匹配、单端转差分电路。

高速 AD 采样芯片采取差分输入，相比单端输入模拟信号可以降低 AD 转换产生的二次谐波，提高信号的信噪比。差分输入具有很好的共模噪声的抑制特性。使用差分输入能很好提高 A/D 的性能。

数据回放时，数据转换器收到计算机从 USB 发送下来的数据文件后，根据文件中脉冲模式及频率等参数要求由 FPGA 依照原来的时序再次产生主波信号、复位信号及脉冲控制信号，并将回波信号的数据经 D/A 及防镜像滤波后输出模拟回波信号至激光雷达产品。

## 3 测控软件设计

测控软件用 Visual C++ 开发，软件采用了多线程技术、串口通信技术和模块化编程思想，数据通信层和数据处理层分开，使测控软件具有较好的稳定性和可靠性<sup>[9]</sup>。

### 3.1 软件总体结构

测控软件总体结构如图 3 所示。操作员管理主要实现操作员登录验证、操作员添加、操作员删除、操作员切换。数据采集主要完成对数据转换器所回传的回波数据采集，并实现采集数据的存储和管理。采集数据事后处理主要完成对所采集的数据进行事后处理，计算出每帧数据的目标距离和信噪比。静态目标模拟数据生成主要完成根据设置的回波参数，产生所需要的目标模拟数据。动态目标模拟数据生成主要完成根据设置的回波参数，产生所需要的动态目标模拟数据。数据回放主要完成把所存储的回波数据和主波控制参数发送至数据转换器。数据的事后显示和分析功能主要完成对所存储的波形数据进行图形显示和分析。

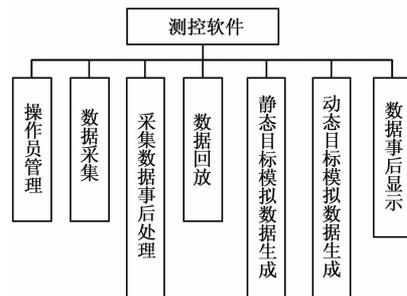


图 3 测控软件总体结构

### 3.2 软件工作流程

测控软件工作流程如图 4 所示。软件运行并通过登录验证后，进入软件运行主界面。操作可以从两方面进行：(1) 数据

采集, 首先设定好采集参数, 然后打开 USB 端口发送采集参数给数据转换器, 并启动数据接收线程开始数据采集, 采集后的数据经过事后分析处理并存储, 需要数据回放时, 从硬盘中把采集的数据文件读出回放给数据转换器再给激光雷达产品。(2) 目标模拟测距, 首先设定目标模拟数据的相关参数, 再产生静态、动态目标模拟数据并以数据文件形式存储, 然后需要从数据文件中读出数据回放给数据转换器再给激光雷达产品。模拟测距时, 测控软件通过 422 通信可以设定产品工作模式, 并接收产品回传的距离等信息, 完成模拟测距。

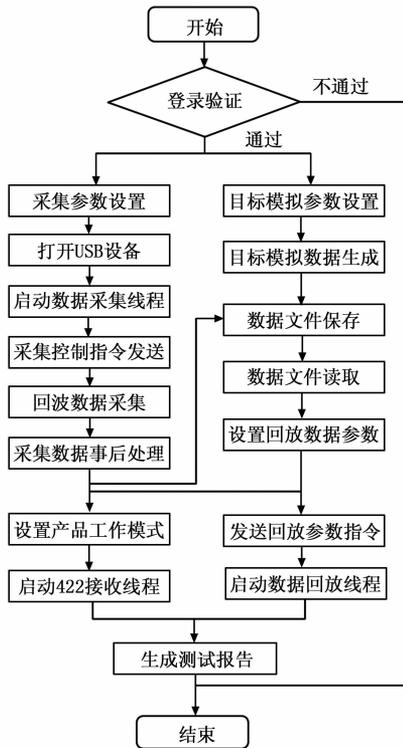


图 4 测控软件工作流程

### 3.3 USB 通信

USB 是一种通用串行总线 它是一种新型快速双向同步传输并可以热插拔的数据传输总线, 较好地满足了对总线易用性扩展能力强和低成本的要求。其支持多个外部设备的连接和通信, 为计算机和外部设备之间的通信提供了一套完整的解决方案<sup>[10]</sup>。

USB 通信功能封装在 usb\_cy7c68013a\_lib.dll 动态链接库文件中, 主要的接口函数有:

```
USB_Board_DRV_API DWORD UsbBoardOpen(); //打开 USB 设备
```

```
USB_Board_DRV_API DWORD UsbBoardClose(); //关闭 USB 设备
```

```
USB_Board_DRV_API DWORD UsbBoardReadData (void * pBuffer, unsigned long dwSize);
```

//读 USB 设备上数据

```
USB_Board_DRV_API DWORD UsbBoardReadStatus (void * pBuffer, unsigned long dwSize);
```

//读 USB 的状态

```
USB_Board_DRV_API DWORD UsbBoardWriteCommand (void * pBuffer, unsigned long dwSize);
```

//向 USB 设备发送控制命令

```
USB_Board_DRV_API DWORD UsbBoardWriteData
```

```
(void * pBuffer, unsigned long dwSize);
```

//向 USB 设备发送数据

在 VC++ 开发环境中, 首先需要将动态链接库文件 usb\_cy7c68013a\_lib.dll、驱动程序复制到计算机中, 然后安装驱动程序。在设备初次连入计算机 USB 口时, 系统会自动提示设备连入, 要求加载驱动。将路径指向驱动所在目录即可完成加载。

### 3.4 目标模拟数据生成

通过设定目标回波帧数  $N$ , 脉冲重复周期  $T$  等参数, 主波脉冲间隔  $\tau$ , 并产生主波数据。根据目标距离、SNR (信噪比) 等参数生成回波数据。

首先, 由服从  $N [0, \sigma_n^2]$  的零均值高斯分布得到白高斯噪声, 并计算器 RMS 值如式 (1)。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n_i - \bar{n})^2} \quad (1)$$

然后根据设定信噪比计算回波信号的幅度值  $A = RMS \times SNR$ , 再由设定的目标距离计算出回波脉冲的位置, 从而得出回波数据。

动态目标模拟数据模拟目标移动时的情形, 因此设置参数还要包括初始距离、终止距离, 相对速度, 如果目标是远离飞行, 则目标距离越来越大, 否则越来越小。根据所设定的飞行速度, 由式 (2) 可以计算出每帧数据回波脉冲位置。

$$\Delta t = \frac{2(D_1 + vt)}{c} \quad (2)$$

式中,  $D_1$  为目标初始距离,  $v$  为目标相对速度,  $c$  为激光在大气中的传播速度。

### 3.5 数据采集及回放

数据采集主要完成外场数据的采集并数字化存储功能。采集过程如下:

- (1) 打开 USB 通信设备;
- (2) 通过 USB 的端点发送采集参数给数据转换器, 包括工作方式、采集频率等;
- (3) 发送采集控制指令给数据转换器并创建数据接收线程, 等待从 USB 接收数据包;
- (4) 在接收线程中循环调用 UsbBoardReadData 完成数据的接收, 并存储在本地为数据文件;
- (5) 关闭 USB 设备。

数据回放主要把存储在本地的数据文件 (包括数据采集和目标模拟数据生成的数据) 通过 USB 发送给数据转换器, 并同时设定激光雷达产品的工作模式。通过产品回传的距离数据和设定的目标距离比对, 判定产品的测试结果。

## 4 测试及分析

把测试系统中数据转换器的回波数据输出至示波器, 读出示波器显示的主回波脉冲时间差  $\Delta t$ , 再由公式 (3) 计算出目标距离。

$$D = \frac{\Delta t \times c}{2} \quad (3)$$

在不同的信噪比下设置下, 比较设定距离和生成的目标模拟数据的距离, 测试结果如表 1 所示。

表 1 不同信噪比下测试结果比对

信噪比	3		7		9	
设定距离 (km)	2	8	2	8	2	8
显示距离 (km)	2.02	8.03	1.97	7.98	1.99	7.99

从表中结果可以看出,在信噪比高的情况下,生成数据目标距离精度较高,总体误差控制在 1% 以内。

在测控软件中设定幅值为 4 V,调整信噪比 3~9,从示波器读出波形的 RMS 值,计算出实际幅值如表 2 所示。从表 2 可以看出,误差控制在 0.5% 以内。

表 2 设定幅值和实际生成数据幅值比对

序号	设定幅值(V)	信噪比	RMS 值(V)	计算幅值(V)
1	4	3	1.30	3.90
2	4	5	0.79	3.95
3	4	7	0.57	3.99
4	4	8	0.51	4.08
5	4	9	0.45	4.05

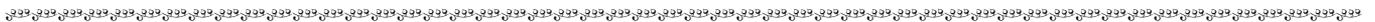
## 5 结论

本文介绍了基于 USB 总线的机载激光雷达产品测试系统研制过程,主要完成了外场数据采集、静态动态目标模拟数据的生成、数据回放等功能,主要创新点如下:

(1) 测控计算机通过 USB 总线发送回波数据给激光雷达产品,保证了数据传输速度,且 USB 支持热插拔,提高了测试系统的灵活性。

(2) 目标模拟数据的信噪比可设,能够模拟不同环境干扰下的测距,为激光雷达产品在不同环境下的性能验证提供了保障。

目前该测试系统已经被应用于激光雷达产品开发时的调试测



(上接第 2120 页)

通过实际的实验,来验证控制系统对循环水 PH 值的调节效果。表 2 为实验数据。

数据表明,相对流量相同的情况下,起始 PH 值不同,在 20 s 内也能完成中和反应;在起始 PH 值相同的情况下,若相对流量大,则完成中和反应的时间也会变短。所以将时间设定为 20 s 或者 25 s 即可完成一周期的中和反应。

## 6 总结

循环水处理技术随着现代科学技术的发展也在不断的提高,我们所设计的循环水处理控制系统主要是以 89C51 单片机为核心,根据流量传感器和 PH 值传感器进行数据信号的采集,然后送入单片机处理,最后通过对电动调节阀的控制来完成。使用增量型 PID 算法,通过串级控制,对循环水 PH 值和电石渣流量的双重控制,提高反映速率和稳定性。

本系统投入运行后,实现了循环水处理的自动控制,能稳定地将循环水处理 PH 值控制在工艺要求范围内,避免了控制系统投运前的人工操作经常出现的循环水 PH 值大幅度波动的状况,通过使用电石渣液作为中和原料节省了成本,经济效益和社会效益显著。本控制系统的应用运行表现出以下特点:

(1) 以 89C51 单片机为核心的控制系统,系统硬件配置合理、实用、可靠。

(2) 采用数码管显示,键盘操作简便,显示简明易懂。

(3) 采用串级控制,克服了电石渣液浓度不均,中和反映响应时间慢等问题,通过及时调整电石渣液流量,使得 PH 值

试,能够满足实际需求。测试系统的研制为激光雷达产品的性能测试提供了模拟仿真环境,提高了产品开发的效率和灵活性。

### 参考文献:

- [1] Shahram Mohammad Nejad, Saeed Olyaei. Comparison of TOF, FMCW and Phase-Shift Laser Range-Finding Methods by Simulation and Measurement [J]. Quarterly Journal of Technology & Education, 2006, 1 (1): 11-16.
- [2] 马鹏阁,齐林,羊毅,等.机载多脉冲激光雷达目标模拟器的研究[J].光学学报,2012,32(1):1-6.
- [3] 马鹏阁,金秋春,柳毅,等.新型机载多脉冲激光雷达目标模拟器[J].红外与激光工程,2012,41(8):2068-2072.
- [4] 苏美开,陈志斌.脉冲激光测距机测程指标的自动快速检测[J].火力与指挥控制,1999,24(1):78-81.
- [5] 王茜蓓,曾嫦娥,彭中.脉冲激光测距机性能综合测试技术[J].强激光与粒子束,2010,22(9):1973-1976.
- [6] 谭里裕.脉冲激光测距仪最大测程与消光比研究[J].红外与激光技术,1990,(3):13-16.
- [7] 胡宾鑫,张梅,殷祖涛.激光测距机测程模拟检测系统的设计已实现[J].计算机测量与控制,2008,16(5):619-623.
- [8] 曾嫦娥,王茜精,常岗,等.脉冲激光测距机最大测程测试方法研究[J].红外与激光工程,2005,34(6):664-668.
- [9] 许曼妮,朱晓.基于 VC++ 实现激光功率/能量计串行通信控制[J].激光杂志,2007,28(5):74-76.
- [10] 邱瑞阳,方方,周伟,等.基于 CAN/USBA 总线的测氨仪多道数据采集系统[J].核电子学与探测技术,2012,32(5):595-597.

满足生产要求的同时,也节约了成本。

本文针对传统的 PH 值控制方式,在反映时间上进行了改进,设计了一种以 89C51 单片机为核心的控制系统,系统实现了对循环水 PH 值的高效,快速,准确地控制。整个系统操作渐变,工作稳定,显示界面简明易懂,能实现对循环水 PH 值的实时检测与数据显示。降低了人员的操作的工作强度。

### 参考文献:

- [1] 姜志海.单片机原理及应用[M].北京:电子工业出版社,2008.
- [2] 张友德,赵英奇,徐时亮.单片微型机原理、应用与实验[M].上海:复旦大学出版社,2003.
- [3] 冯燕,吴振玉.《计算机在化学化工中的应用》课程体系改革初探[J].安徽化工,2012,(2):65-66.
- [4] 严爱军.过程控制系统[M].北京:北京工业大学出版社,2010.
- [5] Richter J D. Digital Simulation of Waste Neutralization Control System [A]. ISA, AnnualConf, No. 28 [C], 1973: 3117-3120.
- [6] 王寅.化工过程混合建模问题研究[D].杭州:浙江大学,2001.
- [7] 许海波,廖传书.基于 AT89S52 单片机的远程监控系统[J].微计算机信息,2007,(9):66-67.
- [8] 王凤全,王耀荣.化工过程控制的特点及其综述[J].北京石油化工学院学报,1998,(2):112-116.
- [9] 张聪,李艾华.基于 C8051F040 单片机的智能枪柜设计[J].计算机测量与控制,2012,(11):3048-3050.