

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2016.02.014

# 基于 ARM 的冲击波测试系统的便携终端设计\*

卫 欣

中北大学计算机与控制工程学院(山西太原,030051)

[摘 要] 在冲击波测试中,测试系统的状态难以监测,测试参数一旦设置不当便无法现场更改;而以 PC 为系统的控制终端,在户外试验时存在操作不便、不易携带的缺点。针对以上问题,设计了基于 ARM 的便携控制终端。利用 Qt 技术设计了图形控制界面,对无线通信进行了性能测试。手持终端通过无线控制测试系统,实现了对测试系统状态的监测、数据的无线传输与波形显示。将手持终端应用于弹药试验,结果表明,其具有良好的可靠性和稳定性。

[关键词] 冲击波;测试系统;便携终端;ARM;Qt

[分类号] TJ510.6

## 引言

爆炸冲击波是评价武器毁伤效应的重要参数,准确测量冲击波超压可以为弹箭威力评价、毁伤效能提供可靠依据<sup>[1-2]</sup>。目前,主要采用引线法和储存法获取冲击波超压<sup>[3-4]</sup>。储存法弥补了引线法存在的布线繁锁、抗干扰能力弱和信号引入噪声等缺点<sup>[5-6]</sup>,但其不足是试验完成后需要回收测试装置读取数据<sup>[7]</sup>。随着通信技术的发展,无线技术也应用到冲击波测试中<sup>[8-10]</sup>。由于测试条件恶劣并且爆炸具有极大的破坏性,通常将无线测试节点布置于地面。这使得无线传输信道变得复杂,信号衰减严重<sup>[11]</sup>,大大影响数据的传输速率和传输距离,甚至导致数据无线传输失败。而且,测点布置好后难以获悉其工作状态,因人为等各种因素引起测点不在正确的状态从而导致测试失败时有发生。另外,测试大多在户外进行,传统测试系统以 PC 为控制终端,其成本较高、不易携带,操作不便<sup>[12]</sup>,使测试效率大打折扣。

本文通过研究储存测试原理并结合无线 WiFi 技术,设计了基于 ARM 的便携式手持终端,通过手持终端无线控制冲击波测试系统,实现了测试系统工作状态的监控和数据的无线读取、储存与显示。手持终端还设有 USB 接口,当出现无线故障时可通过 USB 接口读取数据,防止数据丢失,进一步提高了测试的可靠性。

## 1 系统总体组成

整个系统主要由冲击波测试系统和手持终端组

成,如图 1 所示。

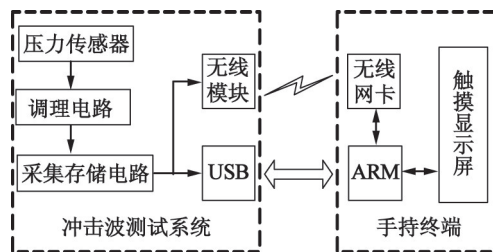


图 1 系统总体组成框图

Fig. 1 Design diagram of the whole system

1) 冲击波测试系统。主要负责采集冲击波信号并储存数据。冲击波信号经过传感器并通过放大、滤波等调理电路的处理,再经过 AD 转换成数字信号并储存。其无线通信模块选用新力维公司 WM001S WiFi 模块,该模块集成微控制器(MCU)和 802.11 b/g 2.4GHz 无线射频收发芯片为一体,内置完整的 TCP/IP 协议栈,以服务器模式集成在测试系统中。另外,测试系统的 USB 芯片采用 FTDI 公司的 FT245RL,实现利用 USB 接口将数据输出。

2) 手持终端。为节省开发周期,实现便携,硬件平台选用自带 3.5 寸触摸屏的 ARM 开发板,在此平台上使用 Qt 设计图形控制界面。该开发板的 CPU 采用含 ARM920T 内核的 S3C2440,是专用于手持设备的高集成、低功耗的 16/32 位 RISC 嵌入式微处理器。板载 64M SDRAM、256M Nand Flash 和 2M Nor Flash,板上设有 4 线触摸屏接口,并连接 3.5 寸的电阻触摸屏为显示控制器,还集成了串口、网口、

\* 收稿日期:2015-07-10

作者简介:卫欣(1990~),男,硕士研究生,主要从事自动控制原理研究。E-mail:340225944@qq.com

USB 接口等通信接口。利用 USB 接口的 RT3070 无线网卡完成与测试系统的无线通信。在图形控制界面上,通过点击触摸屏发送相关指令,即可实现对冲击波测试系统的控制,完成测试任务。

2 手持终端软件总体设计

手持终端主要工作是控制测试系统、监测测试系统的状态、读取与显示获取的数据。这些都可通过手持终端的人机交互控制界面来完成。具体内容包括:通过无线发送控制指令,设置测试系统的工作参数;通过对测试系统进行状态扫描,获悉测试系统的工作状态,利用参数回读的功能来验证测试系统是否在正确的工作状态。若不在设定的工作状态(如人为因素导致的误触发等),可通过设置参数的功能进行现场更改,确保测试顺利进行。读取采集到的测试数据并进行储存,然后通过波形显示出来。

因此,软件设计主要包括 3 大模块:USB 有线通信模块、无线通信模块和人机界面模块。手持终端的软件总体结构如图 2 所示。

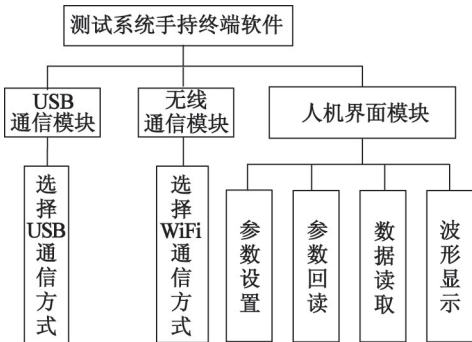


图 2 手持终端软件总体结构

Fig. 2 Overall design diagram of portable terminal software

2.1 USB 驱动设计

测试系统的 USB 芯片选用 FTDI 公司的 FT245RL,但并未提供其在 ARM 的 Linux 下的驱动,为实现手持终端与测试系统的 USB 通信,首先要完成支持 Linux 下的 FT245RL 驱动设计。USB 驱动属于字符设备驱动,可利用 USB 芯片的 VID 和 PID 识别不同厂家的芯片,而 FT245RL 芯片的 VID 为 0x0403,PID 为 0x6001。

首先找到 Linux 的内核源码中的 USB 驱动的框架程序,根据“/drivers/usb/”目录下的 usb-skeleton.c 文件,对 ft245 的驱动程序进行编写,得到修改好的 ft245.c 驱动文件后,将该文件置于/drivers/char/的目录下。然后对同一目录下的“kconfig”和“Makefile”文件进行修改,在内核源码中添加对 ft245 驱动支持,在终端通过#Make menuconfig 命令实现对内核的配置。再执行#Make SUBDIR =

drivers/char/modules 命令编译出驱动模块,完成后将在/drivers/char/的目录下发现名为 ft245.ko 的文件。最后将 ft245.ko 文件移入到开发板中,采用 insmod ft245.ko 命令实现动态加载。此时便实现手持终端与测试系统的 USB 通信。

2.2 RT3070 无线网卡驱动的移植与测试。

手持终端利用 USB 接口的无线网卡与测试系统实现无线通信,选用以 Ralink 公司的 RT3070 芯片为核心的无线网卡。首先对官网获取其驱动程序源码,通过相关配置、编译完成移植后,利用 wireless\_tool 工具来设置无线网卡参数。测试系统无线模块的 ESSID 为 ubnt,IP 为 192.168.1.20,执行 iwlist ra0 scanning 命令对附近的网络进行搜索,根据超级终端的反馈信息判断是否能搜索到 ubnt 无线网络,成功搜索到后再通过 iwconfig ra0 essid ubnt 命令,完成与测试系统的无线模块网络的关联。在超级终端执行 ping192.168.1.20 的命令,来验证无线网卡和测试系统的无线模块之间的无线网络是否实现连通,若两者完成连通,说明无线网卡驱动已经移植成功,并可与测试系统进行无线通信。测试成功后,手持终端可通过无线监控测试系统。

2.3 控制界面的设计

控制界面以图形化和传统代码相结合的方式,采用 Qt/Embedded 编程,先利用派生自 QWidget 的 QMainWindow 的子类化来完成主界面窗口的设计,再通过 Qt Designer From Class 来创建“设置参数”与“参数回读”两个控制界面子窗口;“数据显示”界面则以常用的代码编写实现数据坐标与波形显示的功能。“设置参数”与“参数回读”两个子控制操作界面分别如图 3、图 4 所示。

2.4 后台处理程序设计

主要包含 USB 有线通信和无线方式的两大设计内容,以完成参数设置与回读、数据读取与显示。

1)设置参数:由冲击波经验公式分析可知,冲击波超压峰值因弹药的当量和距爆心的距离不同而

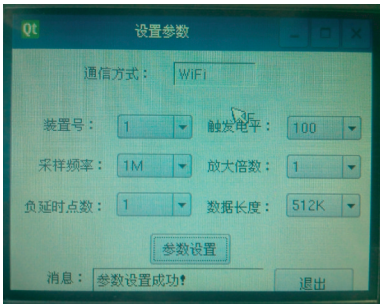


图 3 设置参数界面

Fig. 3 Interface for setting parameters

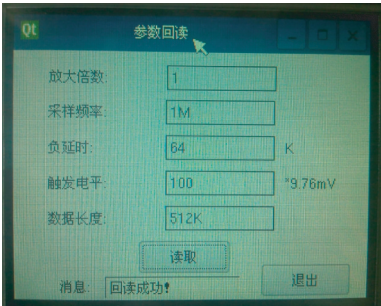


图 4 参数回读界面

Fig. 4 Interface for reading parameters

变化。为了获取完整的数据,需要根据测试要求对测试系统合理设置参数。通过发送指令,完成采样频率、负延时点数、触发电平、放大倍数和数据长度等参数的设置。

2) 参数回读:通过对测试系统发送参数回读指令,然后接收测试系统反馈的信息,利用 ui→label→setText[ tr(“有关参数”) ] 命令,在 ui 文件的标签 Label 中进行显示,由此监测测试系统的工作状态,以判断测试系统是否处于设定的状态,及验证参数是否已设置成功。

3) 数据读取:发送读取数据指令,接收测试系统送回的数据,并将数据以二进制形式在指定文件中进行储存。

4) 波形显示:QPainter 类可用来绘制几何图形、像素映射和显示文字,因此,通过其实现坐标和数据波形的绘制。首先对重绘事件函数、初始化界面函数和坐标设定函数进行声明,然后在 WaveDisplay.cpp 文件中将其重新定义,分别为:Void WaveDisplay::paintEvent ( QPaintEvent \* e )、void WaveDisplay::initInterface() 和 void Draw::resizeEvent( QResizeEvent \* e )。完成二进制文件中数据读取和波形显示的功能。

设计完成后,在手持终端上通过控制界面发送相关命令,对冲击波测试系统进行控制,完成测试任务,其工作流程如图 5。

3 无线通信性能测试

为了验证手持终端与测试系统无线通信的可靠性和稳定性,在实际爆炸环境下(靶场)进行无线性能测试。首先将冲击波测试系统埋设于地面,并保持与弹药试验布置的情况一致。为了便于测试,每次测试令测试系统处于待触发状态,并且其储存测试数据大小均设置为 512KWord,然后人为触发或者软件触发(手持终端)。在距测试系统不同距离处利用手持终端,在图形控制界面上点击参数回读指令,回读测试系统的工作状态,进一步验证参数回读

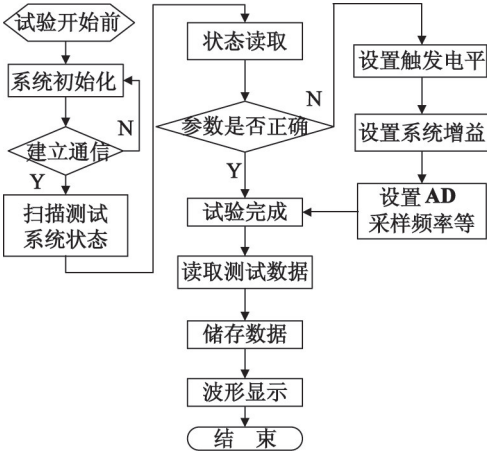


图 5 手持终端工作流程图

Fig. 5 Work flow diagram of the portable terminal

功能的可靠性,然后进行数据的读取,并记录其完成所需要的时间。在同一距离处重复读取 3 次,并将 3 次读取时间的均值作为数据传输时间。每次读数过程均未发生掉点和传输中断的情况,进一步证明无线通信的稳定性和可靠性。

测试结果见表 1。由结果可知,手持终端能成功回读测试系统的工作参数和通过无线可靠地读取数据。但随着距离增大,无线传输速率减小,信号严重减弱;其主要原因是测试系统布置于地面,使得无线传输信道变得复杂,尤其由地面吸收较多的无线电波造成信号衰减严重,进而导致数据的无线传输速率和传输距离受到很大影响。为此,可通过灵活调整手持终端与测试系统的距离,使无线传输性能更佳,以保证快速有效地读取数据,提高测试效率。

表 1 无线通信性能测试结果

Tab. 1 Test results of wireless performance			
距离/ m	传输时间/ s	传输速率/ $\times 10^{-3}$ $s^{-1}$	信号强度/ dB
50	43	190	- 50
100	46	178	- 60
150	49	167	- 75
200	53	154	- 89
250	59	139	- 92

在某弹药静爆威力测试中,弹药用木架架高 1 m,测试系统布置于地面,测试现场如图 6 所示。手持终端在 150 m 远处控制测试系统,通过对其进行状态扫描,成功获取了事先设定好的工作参数,确保了测试系统在正确的工作状态。爆炸完成后利用手持终端,通过无线成功读取了其中一套测试系统采集到的冲击波压力数据(图 7),并在波形显示窗口显示了测试结果(图 8)。





图 6 弹药静爆威力测试现场

Fig.6 Experiment site for the power of static explosion

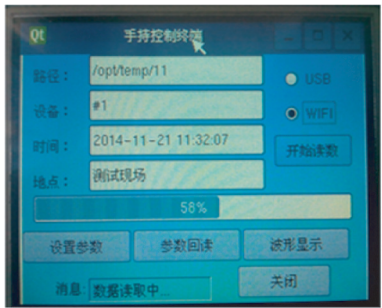


图 7 测试数据的读取

Fig.7 Figure of test data

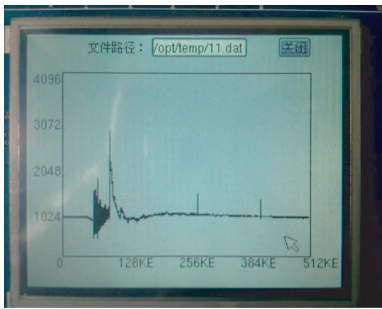


图 8 测试数据的波形显示

Fig.8 Waveform display of test results

4 结论

本文设计的冲击波测试系统的手持终端具有以下优点:1)成本低、小巧便携、易操作;2)实现了无线控制和冲击波监测,可读取数据并显示冲击波波形,当出现无线故障时,可通过 USB 接口读取数据,确保数据不丢失;3)可灵活调整与测试系统的距离,以充分利用更佳的无线传输性能,避免因测点布置于地面引起无线信号衰减严重而造成数据读取失败的问题。

该手持终端稳定可靠,在实弹测试中得到了应用,提高了测试效率,节省了实验开支,具有较高的实用价值。

参 考 文 献

[1] 张少杰,马铁华,沈大伟.低功耗爆炸冲击波应变测试

系统[J]. 传感技术学报,2011,24(9):1359-1362.

ZHANG S J, MA T H, SHEN D W. Low-power blast shock wave strain test system [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2011,24(9):1359-1362.

[2] 朱满林,石成英,蔡星会,等. 基于 ICP 技术的炸药冲击波压力测定[J]. 爆破器材,2012,41(4):30-32.

ZHU M L, SHI C Y, CAI X H, et al . Shock wave pressure measurement of explosive based on ICP technology [J]. Explosive Materials, 2012,41(4):30-32.

[3] KLASBOER E,HUNG K C,WANG C,et al. Experimental and numerical investigation of the dynamics of an underwater explosion bubble near a resilient/rigid structure [J]. Journal of Fluid Mechanics, 2005,537:387-413.

[4] 王代华,宋林丽,张志杰. 基于 ICP 传感器的存储式冲击波超压测试系统[J]. 传感技术学报,2012,25(4):478-482.

WANG D H,SONG L L,ZHANG Z J. A stored overpressure measurement system based on ICP sensor for shock wave [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2012,25(4):478-482.

[5] 马铁华,祖静. 冲击波超压存储测试技术研究[J]. 仪器仪表学报,2004,25(增刊1):134-135,146.

MA T H, ZU J. Shock wave pressure measurement by memorized technique[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004,25(Suppl. 1):134-135,146.

[6] 赵岩,马铁华,杜红棉,等. 基于 FPGA 和无线通信的冲击波超压采集系统设计[J]. 工程设计学报,2011,18(6):449-452.

ZHAO Y,MA T H,DU H M,et al. Design of shock wave overpressure acquisition system based on FPGA and wireless communication [J]. Journal of Engineering Design, 2011,18(6):449-452.

[7] 张哲,李宝珠,王存宝,等. 基于无线数据传输的冲击波超压测试系统的研究[J]. 传感器与微系统,2009,28(6):7-9.

ZHANG Z,LI B Z,WANG C B,et al. Study on shock wave test system based on wireless data transmission [J]. Transducer and Microsystem Technologies,2009,28(6):7-9.

[8] SALLAI J,VOLGYESI P,PENCE K,et al. Fusing distributed muzzle blast and shockwave detections [C] // Proceedings of the 14th International Conference on Information Fusion. Chicago, Illinois, USA,2011:1-8.

[9] 王健,裴东兴,王薇. XXX 爆炸威力场远距离多参数数据采集系统[J]. 传感技术学报,2013,26(4):516-519.

WANG J, PEI D X, WANG W. The remote multiparameter's data acquisition system of XXX explosion power field[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2013,26(4):516-519.

- [10] 董冰玉,杜红棉,祖静. 基于无线控制的冲击波超压测试系统[J]. 传感技术学报,2010,23(2):279-281.  
DONG B Y, DU H M, ZU J. The blast wave overpressure measuring system based on wireless-control[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators,2010,23(2):279-281.
- [11] 孔祥善,赵德光,王代华,等. 低空信道对无线传感器网络的影响分析[J]. 传感技术学报,2011,24(1):106-110.  
KONG X S, ZHAO D G, WANG D H, et al. The impact analysis of wireless sensor network in low-level channel[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2011,24(1):106-110.
- [12] 张霞,张志杰,轩志伟. 基于 ARM 和 WiFi 的测试系统手持终端的设计[J]. 电视技术,2013,37(15):74-76,161.  
ZHANG X, ZHANG Z J, XUAN Z W. Design of wireless portable terminal based on ARM and WiFi[J]. Video Engineering. 2013,37(15):74-76,161.

## Design of a Portable Terminal Based on ARM for the Test System of Shock Wave Pressure

WEI Xin

School of Computer Science and Control Engineering, North University of China (Shanxi Taiyuan, 030051)

[ABSTRACT] In the measurement of shock wave overpressure, the status of test system is hard to be monitored, and test parameters could not be adjusted on site once they are improperly set up. Meanwhile, it is inconvenient to operate and hard to carry the traditional PC in outdoor experiments. In order to solve such problems, a portable control terminal for shock wave pressure test system based on ARM was designed. The graphic application program was developed by the software of Qt. Performance test in the actual explosion environment was used to verify the reliability and stability of wireless communication. The functions of system state monitoring, data transmittal by wireless and waveform display could be realized by the portable terminal with wireless test system. Results show that the portable terminal has good stability and reliability in real explosion experiments.

[KEY WORDS] shock wave; test system; portable terminal; ARM; Qt

(上接第 59 页)

- [6] 卢金华,李庆青,李广乾,等. 高浓度硝酸铵溶液分析中的问题与对策[J]. 当代化工,2013,42(10):1483-1484.  
LU J H, LI Q Q, LI G Q, et al. Problems and solutions in content analysis of high concentration ammonium nitrate solution[J]. Contemporary Chemical Industry, 2013,42(10):1483-1484.
- [7] 黄寅生,刘杰,曾志超. 硝酸铵水溶液浓度快速检测方法[J]. 爆破器材,2011,40(1):16-18.  
HUANG Y S, LIU J, ZENG Z C. Rapid detection methods of ammonium nitrate solution concentration[J]. Explosive Materials, 2011,40(1):16-18.
- [8] 谢圣艳,唐佳华. 一种硝酸铵溶液浓度检测装置:CN203502373U[P]. 2014-03-26.
- [9] 谢圣艳,唐佳华. 一种硝酸铵溶液 pH 检测装置:CN203534996U[P]. 2014-04-09.
- [10] 孟丽娟,程治平,刘立军,等. 硝酸铵水溶液应用于乳化炸药生产的研究[J]. 煤矿爆破,2012(4):17-19.  
MENG L J, CHENG Z P, LIU L J, et al. Study on the application of liquid ammonium nitrate in emulsion explosive[J]. Coal Mine Blasting,2012(4):17-19.

## Measurement and Adjusting Technology for the Related Parameters of Ammonium Nitrate Solution Used in Industrial Explosives

XIE Shengyan, TAN Yong, TANG Jiahua, HE Junrong, JIANG Liancheng  
Santai Chemical Co., Ltd., Yahua Group (Sichuan Mianyang, 621000)

[ABSTRACT] Measurement technology of the ammonium nitrate solution applied in industrial explosives was analyzed, and the laboratory determination technology, online determination and adjusting technology of the mass fraction and pH value of the ammonium nitrate solution were developed in comparison. Results show that temperature-density-mass fraction table method is fast to measure the mass fraction of ammonium nitrate solution, while the determination method of pH value, with method of 10 percent volumetric of the ammonium nitrate solution, is more simple and quick, the test results of which are consistent with method of HG/T 4523—2013 for determination of the ammonium nitrate solution. The online determination and adjusting technology of the mass fraction and pH value of ammonium nitrate solution enables to satisfy the requirement of continuous and automatic production quality of the industrial explosives.

[KEY WORDS] industrial explosives; ammonium nitrate solution; mass fraction; pH value; on line determination