

一种高准确度、高可靠的红外光电时刻测量系统*

张稳稳^{1,2} 欧阳嫻¹ 白永林¹ 刘百玉¹

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所,瞬态光学与光子技术国家重点实验室,西安 710068)

(2 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘 要 针对靶场试验对测量仪器的准确度及可靠性的特殊要求,开发了一种基于嵌入式 PC/104 模块和大规模可编程逻辑器件 CPLD 的红外光电时刻测量系统.介绍了该系统的组成、测量原理及其实现途径.靶场实验结果表明,该系统设计环境适应能力强,能可靠地工作在 $-35\sim 45^{\circ}\text{C}$ 的环境下;测量准确度高,测时误差小于 $30\ \mu\text{s}$.

关键词 红外光电时刻测量;计时电路;爆炸时刻;飞行时间

中图分类号 TH714

文献标识码 A

文章编号 1004-4213(2007)01-0039-4

0 引言

在靶场试验中,爆炸时刻是飞行弹体试验鉴定的重要性能指标之一.只有精确地测量这一数值,才能为脱靶参数的计算、引战配合性能的评估提供准确的时间数据.靶场对飞行弹体及靶标轨迹测量的任务主要由光测设备完成.由于受摄影频率及弹体飞行速度高等因素的制约,测量准确度只能精确到毫秒或亚毫秒量级.而某些光电时刻测量系统虽然准确度有所提高,但环境适应能力和可靠性却无法满足靶场的试验要求.随着新一代弹体技术的发展,急需研制出新型的高准确度、高可靠、高稳定的光电时刻测量系统.

本文介绍的新型红外光电时刻测量系统的设计应用嵌入式 PC/104 模块作为控制计算机,同时采用大规模可编程逻辑器件 CPLD 设计了计时电路,提高了测量系统的可靠性、抗干扰性能以及环境适应能力,确保了靶场工作环境下的测量准确度,测量误差小于 $30\ \mu\text{s}$.

1 系统的组成及测量原理

1.1 系统组成

新型红外光电时刻测量系统主要由以下各部分组成:光电探测单元;计时电路;GPS-B 码时统同步;计算机控制单元.结构见图 1.

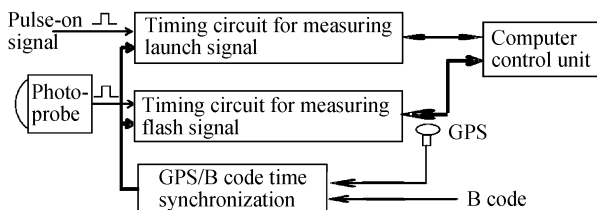


图 1 系统结构

Fig. 1 System block diagram

1.2 测量原理

爆炸时刻的测量主要是利用弹体爆炸时出现的光学、力学、声学、电磁学等物理特性,采用电子学方法实现自动测量.根据爆轰的有关辐射原理,爆炸产生的瞬时能量转化成冲击波、破片内能和辐射能.红外光电时刻测量系统就是利用光电探测器将弹体爆炸时产生瞬时红外辐射能转换成电信号,通过对电信号精密测量达到测量的目的.

飞行弹体爆炸时产生的瞬时红外光经光电探测单元转变为爆炸信号(即电信号),爆炸信号经放大整形后去冻结计时单元中的爆炸时刻计时器并锁存 GPS 的标准时;由 PC104 计算机构成的控制系统对计时结果进行采集、处理,最后得出弹体爆炸时刻的时、分、秒、毫秒、微秒的时间信息.本系统也可以记录飞行弹体的发射时刻,并能够给出飞行弹体的飞行时间.

2 计时电路的 CPLD 实现

要确保 $30\ \mu\text{s}$ 的测量准确度和高可靠性,固然必须设计符合指标的光电探测单元(高灵敏红外光电探头、具有良好输出特性及稳定性的前置放大器),但选择高准确度的同步时钟系统和设计高准确度的计时电路也很关键.

在以往靶场采用 IRIG-B 码时统同步系统,随着传输距离的变化需要不断的对时修正,操作复杂,准确度也难以保证.本系统采用 GPS-B 码同步系统,GPS 的标准时保证了时分秒的绝对准确度,GPS 的 1PPS 信号用作计时电路的同步信号,GPS 的 10 MHz 输出信号作为计时电路的时钟,从而确保了秒以下的计时准确度.

采用一般集成电路和分立元件来组建计时电路,不但电路复杂、体积大、开发周期长,而且在控制单元接口时还要增加相应的外围电路,抗干扰能力

差,电路的安全保密性也难以保证.采用大规模可编程逻辑器件 CPLD 设计计时电路、提高了测量准确度、可靠性和抗干扰能力,缩小了体积,降低了功耗.特别是 CPLD 电路设计的灵活性,大大地简化了电路结构,缩短研发周期.

用 CPLD 设计的计时电路主要由四部分组成:四组 20 位冻结性加法计数器,四组 20 位的锁存器,一组 11 位的可预置减法计数器,两组数据选择器.

20 位冻结性加法计数器是用来完成秒以下的时间信息计数测量功能.20 位的锁存器是用来锁存发射时刻或爆炸时刻的 GPS-B 码输出的并行时间码.11 位的可预置减法计数器是为信号阻塞技术而设计的.

3 基于 PC/104 的控制单元

红外光电时刻测量系统在执行测量任务时需要和多种大型观测设备同时工作.想要取得高准确度的实验数据就要求测量系统能够抵抗强的电磁干扰,而且能够适应靶场恶劣的气候条件(-35~45℃).因此,提高控制单元的电磁兼容性、稳定性和可靠性成为设计的关键.而关键的关键在于控制单元的核心部分应该选择一种高性能、高可靠性的计算机.大势所趋,采用嵌入式 PC104 就成了“自然选择”.

PC/104 计算机体积小、集成度高,模块功耗低,工作温度范围宽,具有良好的抗冲击、抗震特性,而且与 PC 总线在体系结构、硬件和软件上完全兼容.

采用 PC/104 可以直接外挂显示器和键盘,调试非常方便,缩短了研制周期.

3.1 硬件构成

控制单元由嵌入式 PC/104 计算机和外围接口电路组成.结构如图 2.

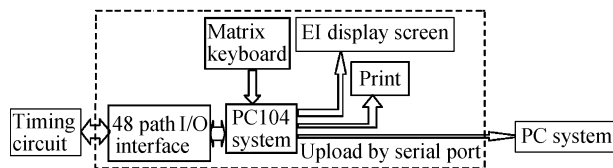


图 2 控制系统结构
Fig. 2 The control system

嵌入式 PC/104 计算机选用扩展温度(-40℃~+85℃)的 MSM486SV 模块为中央处理器,MSM486SV 模块通过 48 路 I/O 接口卡发送控制命令、采集数据并进行运算处理.测量结果可以通过 EL 场致效应屏显示、并行口打印或通过串口上传到上位机.测量数据及程序的存储采用 32M 大容量固态电子硬盘.

3.1.1 MSM486SV 模块

MSM486SV 是一个基于 PC/104 的高可靠、高集成度 ALL-IN-ONE CPU 模块,它在标准 PC/104 尺寸上集成了计算机的所有功能.板上使用 AMD 公司的 ELAN400/410 嵌入式处理器,主频为 66 MHz 或 99 MHz.最大内存 32 MB,板上不但包含标准 PC 一般接口,还专为嵌入式的应用而在 MSM486SV 单板设计了一系列附加特性,使板上功能更为完善.组成如图 3.

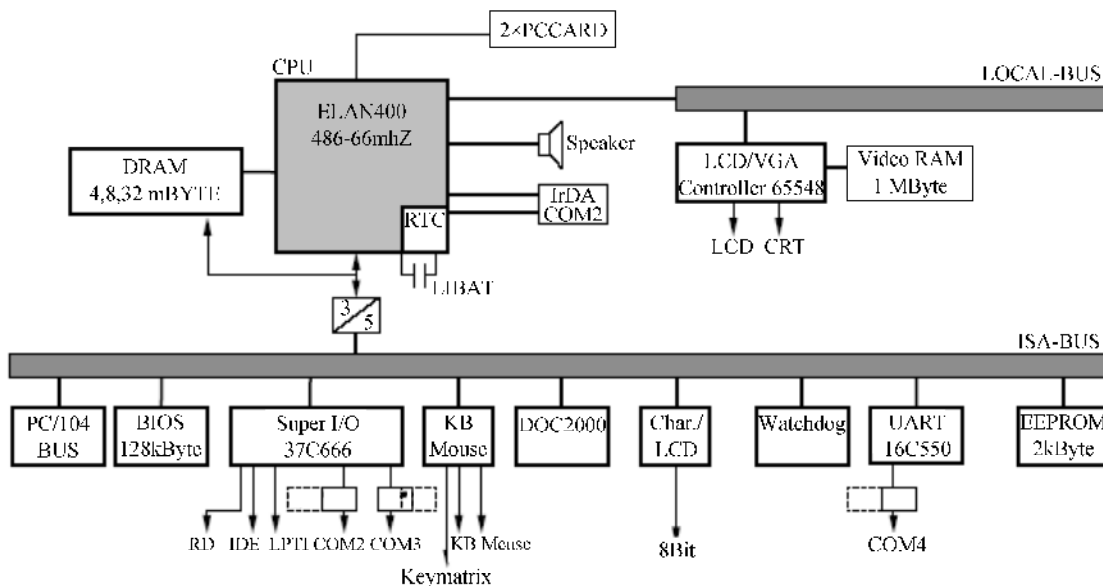


图 3 MSM4865V 组成
Fig. 3 MSM4865V block diagram

3.1.2 48 I/O 接口卡

PC104 与计时电路通过 48 路 I/O 接口板进行

双向数据交换,48 路 I/O 接口板包含两块 8255PPI 芯片,8255 可按三种方式工作,实际工作方式可通

过相应程序设置,每 24 位 DIO 进一步可分为三个 8 位端口,每个端口都可通过程序设置为输入或输出端口.所有 I/O 信号线都是 TTL/COMS 兼容的,均能直接与外部设备或信号连接.每个 24 位通道 DIO 上的信号线、电源线和地线均由一个 50 针的连接器引出.系统通过程序设计对 8255 的端口进行设置.

3.1.3 键盘和显示器

鉴于靶场特殊的工作环境,系统采用了三防处理的不锈钢矩阵键盘和 640×480 的 EL 显示屏.不锈钢矩阵键盘通过 PC104 主模块标准键盘接口连接,用于参量的设置、查阅、修改和确认等.EL 为桔黄色主动发光型显示器,其对比度高、无余辉、视角可达 160° 以上,可抗冲击 100g.

3.2 软件设计

操作系统采用高效可靠的 DOS6.22 操作系统,软件在 Borland C++3.11 平台上采用 C++ 语言编写.为了更为方便用户的操作,软件采用了西文 DOS 下的全中文菜单,其主要功能是系统时钟检查、测量参量设置、系统功能自检、测量、数据显示、存盘、打印、通信等.从代码编写的规范化以及便于软件升级的角度考虑,在软件设计时将软件代码分成了几个相对独立的模块进行编写,其中包括控制界面模块、参量设置模块、系统功能自检模块和测量模块等.

3.2.1 程序模块介绍

主程序通过调用控制界面模块函数生成系统控制界面即人机对话界面,它由一个主对话框和若干个按键组成,通过按键选择进行相应的操作,同时系统通过对话框给出操作提示以有效避免误操作.

参量设置模块的功能是接受从键盘上输入的试验必需的参量.该模块还具有对某些参量进行了常识性判断的功能,在给出纠错提示并确认输入正确后,才能进行下一步的工作.

系统功能自检模块的作用是在测量前对测量设备、测量需要的信号及其通道做一个全面系统的检查,以确保设备状态良好.

测量模块是整个软件的核心.该模块的功能是记录正式测量数据,并在测量任务完成后显示测量数据;同时提供保存、预览、时刻修正、打印测量报告、发送测量文件到上位机等功能.

3.2.2 软件流程

系统的软件流程如图 4.开机运行后主程序调用控制界面模块的函数在 EL 屏上显示人机对话界面,一般的操作流程是先测前自检,再进行参量输入,最后进入测量状态,接收到信号后进行处理并将测量结果保存.

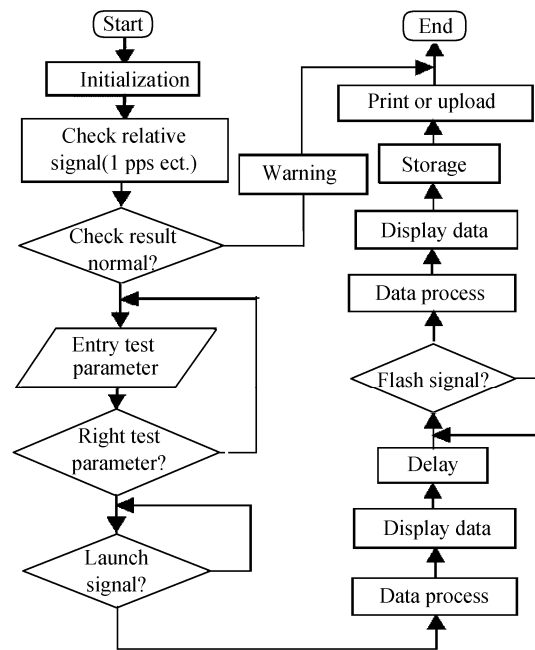


图 4 软件流程

Fig. 4 Software flowchart

3.2.3 串口程序设计

完成测量任务后,为了即时、可靠地将测量结果上报到指挥所并确保传输方式满足保密要求,文件传输特采用如下方式:测量结果先通过串口上传到上位机,然后再通过专用网络上报至指挥所.所以串口通信的设计也是本软件的重要组成部分.

PC/104 系统作为下位机发送测量文件,光电经纬仪的控制计算机作为上位机接收测量文件.PC104 提供两个标准的串口,在 DOS 系统下有多种串口编程方法,系统采用直接读写 UART 内部寄存器的方法,使用 C 语言编程.上位机运行环境为 Windows 操作系统,串口程序采用 API 函数按照通信协议编写.

4 实验结果

对于系统的可靠性,进行了高低温实验.结果表明,系统可以稳定可靠工作在 $-35 \sim 45^\circ\text{C}$ 的环境下.

对于系统准确度的测量,采用了如下方案:用一触发源发送出触发信号,同时启动时间分辨率为 1 ns 的时间间隔测量仪和红外时刻测量系统;当高灵敏的快速光电管和光电探头同时接收到闪光灯产生的闪光信号并转换成电信号时,分别终止时间间隔测量仪和红外光电时刻测量系统.准确度测量的装置见图 5.测量数据见表 1.

在实验室环境下,红外时刻测量系统的误差均没有超过 $10 \mu\text{s}$;在靶场经实弹考核,测时误差均远小于 $30 \mu\text{s}$ (即设计指标).

表 1 测量数据

	1	2	3	4	5
红外时	10:20:40.235146	10:24:11.190621	10:30:15.846912	10:33:05.792649	10:38:34.368267
刻测量	10:20:42.000012	10:24:16.247145	10:30:28.613589	10:34:55.127635	10:44:22.478296
系统	1.764886	5.056524	12.766677	109.934968	348.110029
飞行时间	1.764882813	5.056520256	12.766671784	109.934960083	348.110020456
时间间隔测量仪	3.187	3.744	5.216	7.917	8.544
误差/ μs					

5 结论

新型的红外光电时刻测量系统达到了预定技术指标. 基于新技术的采用而真正成为一台高精度、高可靠、高抗干扰性的新型测量设备. 完全可以满足现代靶场对飞弹的飞行时间测量要求, 有着广泛的靶场应用前景.

参考文献

- [1] ZHANG Wei-zheng, FU You-yu, WANG Bing. Research on recording detonation process of the long-range munitions bursts[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2003, **26**(3):96-98.
张伟政, 付有余, 王兵. 远距离炸点炮轰过程记录方法[J]. 长春理工大学学报, 2003, **26**(3):96-98.
- [2] XU Xiu-zhen, LI Zi-tian, LI Chang-le, *et al.* Design on driving generator based on cpld technology for ccd camera with optional output [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(12):1504-1507.
许秀贞, 李自田, 李长乐, 等. 基于 CPLD 的可选输出 CCD 驱动时序设计[J]. 光子学报, 2004, **33**(12):1504-1507.
- [3] SHI Yu-xiang. High precision bomb point time auto measure instrument [J]. *Journal of Changchun University*, 2002, **12**(3):1-4.
石玉祥. 新型高精度炸点时刻测量仪[J]. 长春大学学报, 2002, **12**(3):1-4.
- [4] WANG Hua, WEN De-sheng, LI Xiang-guo, *et al.* Development of uncompressed multichannel digital video optical fiber transmission system[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(1):150-153.
王华, 汶德胜, 李相国, 等. 无压缩多路数字视频光纤传输系统的研制[J]. 光子学报, 2005, **34**(1):150-153.
- [5] OUYANG Xian, LIU Bai-yu, LIU Jin-yuan, *et al.* The research of electromagnetic compatible performance in laser shoot synchronization system [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(12):1521-1523.
欧阳娴, 刘百玉, 刘进元, 等. 激光打靶同步系统电磁兼容性能研究[J]. 光子学报, 2003, **32**(12):1521-1523.
- [6] SONG Wan-jie, LUO Feng, WU Shun-jun. CPLD technique and application[M]. Xi'an: Xidan University Press, 1999.
宋万杰, 罗丰, 吴顺军. CPLD 技术及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999.
- [7] BAI Yong-lin, REN Ke-hui, OUYANG Xian, *et al.* Measurement of the denotation temperature by transient multi-wavelength pyrometry[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(1):150-153.
白永林, 任克惠, 欧阳娴, 等. 炸药爆轰温度的瞬时光谱测量[J]. 光子学报, 2005, **34**(1):150-153.
- [8] YANG Cheng-wei, HUO Yu-jing, HE Shu-fang, *et al.* The measurement of flight time for pulsed laser ranging based on CPLD[J]. *Laser & Infrared*, 2004, **34**(2):106-108.
杨成伟, 霍玉晶, 何淑芳, 等. 基于 CPLD 的脉冲激光测距飞行时间测量[J]. 激光与红外, 2004, **34**(2):106-108.

High-precision and High-reliability IR Photoelectronic Time Measurement System

ZHANG Wen-wen^{1,2}, OUYANG Xian¹, BAI Yong-lin¹, LIU Bai-yu¹

(1 State Key Laboratory of Transient and Photonics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068)

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Received date: 2005-10-17

Abstract Based on the standard for precision and reliability that measurement system used in missile range is to be up to, a new-style IR Photoelectronic time measurement system is designed, which is in virtue of embedded PC/104 and CPLD. Structure of the system, principle of measurement and the realization of it are introduced in detail. The design is proved to be successful by the results of test in the missile range. This system has so powerful adaptive capacity to formidable working conditions that it is available with the temperature from -35°C to 45°C . It exhibits so stable precision that its measurement error is less than $30\ \mu\text{s}$. The anticipation is realized perfectly.

Key words Time measurement; IR photoelectronic -probe; Timing circuit; Explosion time; Flight time



ZHANG Wen-wen was born in 1977, and received the B. S. degree in 2000. She is currently working for her master's degree in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences. Her research interests are Computer Control and Communication Processing.