

·光电系统与amp;设计·

基于激光光幕的连发弹丸测速系统

赵宇, 赵冬娥

(中北大学电子测试技术国家重点实验室, 山西 太原 030051)

摘要:连发弹丸的速度和射频测试是靶场测试要研究的一个重要问题. 介绍了基于四光幕的区截测速系统, 分析连发弹丸过靶波形特征, 采用前沿分析的方法确定弹丸过靶波形的特征点, 对存在振动信号的波形利用信号匹配法确定弹丸过靶波形的特征点, 编写了基于 VC++ 开发环境的测试软件. 利用软件对波形数据进行处理获得连发弹丸的速度和射频. 实弹打靶测试的结果表明, 该激光测速系统操作方便, 测试结果准确.

关键词:激光测速; VC++ ; 弹丸速度; 射频

中图分类号: TN249; TP206

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)03-0010-03

Repeating Projectile Velocity Measuring System Based on Laser Screen

ZHAO Yu, ZHAO Dong-e

(National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology of North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Study on measuring repeating projectile velocity and firing rate is an important problem for shooting range test. An area cut velocity measuring system based on four light screens was introduced. Output waveform characteristics of the projectile were analyzed, front edge analysis method were used to conform the characteristic point of output waveform, and signal matching method used to conform the characteristic point of output waveform with vibration signals. A measuring software based on vc++ development environment was programmed, using software to process the waveform data to obtain velocity and firing rate of repeating projectile. The experimental results show that the laser screen measuring system is easy to operate, test results are accurate.

Key words: laser velocity measuring; VC++ ; projectile velocity; firing rate

弹丸飞行速度是判断武器毁伤效果的一个重要物理量, 也是枪炮、火药生产研制单位的一个重要技术指标. 传统的测试方法主要可分为接触法和非接触法, 接触法包括网靶法、钢板靶法等, 非接触法包括线圈靶、天幕靶、光幕靶、声靶等测试方法. 接触法往往会影晌弹道特性, 并且不能用于连发测试场合. 由于接触法测试场合的局限性, 目前非接触法的应用越来越广泛. 相对而言, 光幕靶由于其低价格、高测试精度、高可靠性的特点, 除了能够进行测速以外, 延长采集时间, 可以对连发弹丸的射频进行测试, 逐步成为靶场测试系统中一个重要的组成部

分^[1].

1 激光光幕测速原理

激光光幕测速系统构成如图 1 所示, 该系统由四光幕构成, 为了测试弹丸在 4 个光幕的中心位置 D 的速度, 测试时弹丸依次经过 P_1, P_2, P_3, P_4 平面, 每经过一个平面, 弹丸阻挡部分光线, 光电探测器将变化的信号送入采集卡中. 系统以 P_1P_4 和 P_2P_3 构成两对区截区域^[2]. 精确地测得 P_1P_4 和 P_2P_3 光幕的间距 $\Delta x_1, \Delta x_2$ 以及弹丸过 2 个光幕

收稿日期: 2010-05-13

基金项目: 山西省科技基础条件平台建设项目(2010091013)

作者简介: 赵宇(1980-), 男(满族), 吉林人, 助教, 硕士, 主要从事光电测量方面的研究.

波形的时间差 Δt_1 、 Δt_2 即可求得弹丸在光幕区间的平均速度.

$$\bar{v} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta x_1}{\Delta t_1} + \frac{\Delta x_2}{\Delta t_2} \right) \quad (1)$$

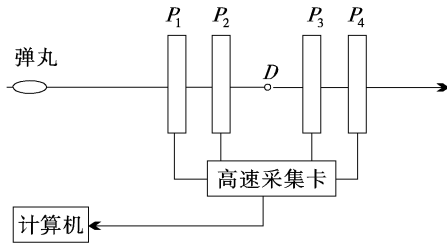


图 1 测速系统构成

过靶波形特征点的选择中,以 P_1, P_2 两通道为例. 2 个通道过靶信号各选择一个特征点,确保这 2 个特征点在过靶信号中所处的位置一样,如图 2 所示,则

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (2)$$

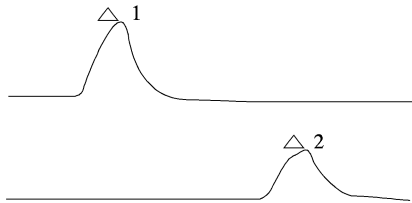


图 2 过靶信号特征点选取

2 激光光幕测速系统设计

光幕构成如图 3 所示,线激光器发出光线经过玻璃微珠原向反射屏反射,汇聚到光电探测器

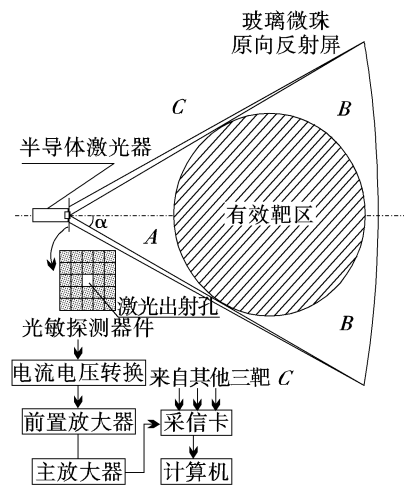


图 3 光幕构成

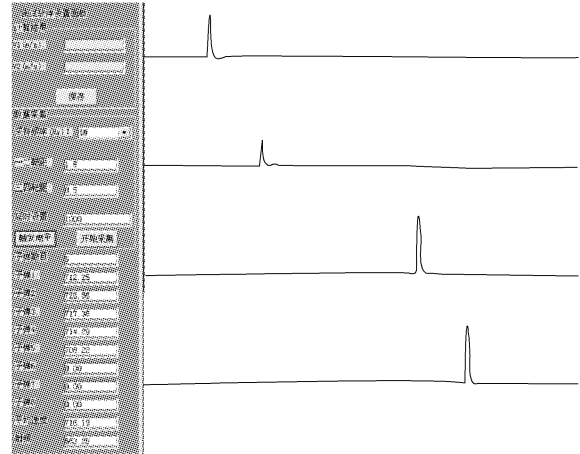


图 4 弹丸过靶波形(压缩显示,其余 4 发弹丸波形未显示)上^[3],光电探测器的输出信号经过放大电路处理,输入采集卡中,采集卡采用 UDAQ20612 高速数字采集卡,通过程序调用采集卡的驱动和动态链接库,通过软件设置采集频率与触发电平,选择适当的算法计算连发弹丸的速度和射频等参数.

2.1 测试软件设计

测试软件基于 VC++ 开发环境,主要由控制部分,显示部分,算法处理部分构成^[4],其中控制部分可以设置采集频率与触发电平.采集频率的确定与弹丸的速度与长度有关,采集前应预先估计弹丸大致的速度与弹长之比,选择适当的采集频率.触发电平的设置取决于弹丸过靶信号的信噪比和弹丸过靶信号幅度的极值.显示部分将采集到的数据以图形方式表现.

2.2 波形处理算法

依据弹丸外形的特征,弹丸的前端穿越光幕形成脉冲信号,对于同一弹丸,其穿越 2 个光幕时的波形特性应该基本相同,以弹丸波形前沿为研究对象,采用插值型求导公式逐点求波形曲线斜率.

设已知 $f(x)$ 在节点 $x_k (k=0, 1, \dots, n)$ 处的函数值为 $f(x_0), f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)$,运用插值原理,可以作 n 次插值多项式 $P(x)$ 作为 $f(x)$ 的近似,由于多项式的求导比较容易,取 $P'(x)$ 的值作为 $f'(x)$ 的近似值,这样建立的数值公式

$$P'(x) \approx f'(x) \quad (3)$$

按照采样频率采集所得数据,点与点间距是一定的,给出 6 个节点 $x_k: x_0, x_1 = x_0 + k, x_2 = x_0 + 2k, x_3 = x_0 + 3k, x_4 = x_0 + 4k$ 处的函数值为 f

$(x_0), f(x_1), f(x_2), f(x_3), f(x_4)$ 作4次插值多项式

$$P_4(x) = \frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)(x-x_4)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)(x_0-x_3)(x_0-x_4)} f(x_0) + \frac{(x-x_0)(x-x_2)(x-x_3)(x-x_4)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)(x_1-x_3)(x_1-x_4)} f(x_1) + \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_3)(x-x_4)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)(x_2-x_3)(x_2-x_4)} f(x_2) + \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)(x-x_4)}{(x_3-x_0)(x_3-x_1)(x_3-x_2)(x_3-x_4)} f(x_3) + \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)}{(x_4-x_0)(x_4-x_1)(x_4-x_2)(x_4-x_3)} f(x_4) \quad (4)$$

令 $x = x_0 + tk$, 式(4)就可以表示为

$$P_4(x_0 + tk) = \frac{1}{24}(t-1)(t-2)(t-3)(t-4) \cdot f(x_0) - \frac{1}{6}t(t-2)(t-3)(t-4)f(x_1) + \frac{1}{4}t(t-1)(t-3)(t-4)f(x_2) - \frac{1}{6}t(t-1)(t-2)(t-4) \cdot f(x_3) + \frac{1}{24}t(t-1)(t-2)(t-3)f(x_4) \quad (5)$$

两端关于 t 求导, 有

$$P_4(x_0 + tk) = \frac{1}{12k} [(2t^3 - 15t^2 + 35t + 25) \cdot f(x_0) - (8t^3 - 54t^2 + 104t - 48)f(x_1) + (12t^3 - 72t^2 + 114t - 36)f(x_2) - (8t^3 - 42t^2 + 56t - 16) \cdot f(x_3) + (2t^3 - 9t^2 + 11t - 3)f(x_4)] \quad (6)$$

分别取 $t = 0 \sim 4$ 得出5点求导公式

$$D_0 = \frac{1}{12k} [-25f(x_0) + 48f(x_1) - 36f(x_2) + 16f(x_3) - 3f(x_4)] \quad (7)$$

$$D_1 = \frac{1}{12k} [-3f(x_0) - 10f(x_1) + 18f(x_2) - 6f(x_3) + f(x_4)] \quad (8)$$

$$D_2 = \frac{1}{12k} [f(x_0) - 8f(x_1) + 8f(x_2) - f(x_4)] \quad (9)$$

$$D_3 = \frac{1}{12k} [-f(x_0) - 6f(x_1) + 18f(x_2) + 10f(x_3) + 3f(x_4)] \quad (10)$$

$$D_4 = \frac{1}{12k} [3f(x_0) - 16f(x_1) + 36f(x_2) - 48f(x_3) + 25f(x_4)] \quad (11)$$

其中, D_n 为一阶导数 $f'(x_n)$ 的近似值. 再求 D'_n 为二阶导数 $f''(x_n)$ 的近似值, 5点公式如下

$$D'_0 = \frac{1}{12k^2} [35f(x_0) + 104f(x_1) + 114f(x_2)$$

$$- 56f(x_3) + 11f(x_4)] \quad (12)$$

$$D'_1 = \frac{1}{12k^2} [11f(x_0) - 20f(x_1) + 6f(x_2) + 4f(x_3) - f(x_4)] \quad (13)$$

$$D'_2 = \frac{1}{12k^2} [-f(x_0) + 16f(x_1) - 30f(x_2) + 16f(x_3) - f(x_4)] \quad (14)$$

$$D'_3 = \frac{1}{12k^2} [-f(x_0) + 4f(x_1) + 6f(x_2) - 20f(x_3) + 11f(x_4)] \quad (15)$$

$$D'_4 = \frac{1}{12k^2} [11f(x_0) - 56f(x_1) + 114f(x_2) - 104f(x_3) + 35f(x_4)] \quad (16)$$

用5点公式求节点的导数确定弹丸过靶波形的特征点能够得到满意的效果. 五相邻节点的选法, 是在所求导数的该节点两侧各取2个邻近的节点. 在采集数据的开头和结尾, 一侧的节点数不足2个, 则用另外一侧的节点补足^[4], 一旦确定第一发弹丸的特征点, 以此特征点为基准, 继续寻找后续几发弹丸的特征点. 各个通道各发弹丸特征点确定后, 根据弹丸过靶顺序, 利用式(1)分别计算各发弹丸的过靶速度.

对于 n 发弹丸, 射频主要由第 n 发弹丸特征点所对应的时间与第一发弹丸特征点对应时间之差决定, 对四通道采集系统射频由下式确定

$$\bar{f}_f = \frac{s}{\sum_{\substack{s=1,2,\dots,4 \\ j=2,3,\dots,n}} \frac{(t_s^n - t_s^1)}{(n-1)}} \quad (17)$$

其中, t_s^n 表示第 s 通道第 n 发弹丸特征点所对应的时间.

测试过程中由于地面振动引起光幕的抖动, 由此引起的振动噪声信号幅度有可能淹没弹丸过靶信号. 如图5所示, 此时, 振动信号幅值太大, 变化比较剧烈, 而弹丸过靶信号类似脉冲结构, 因此在处理此种含有振动信号的弹丸过靶波形过程中, 可以利用

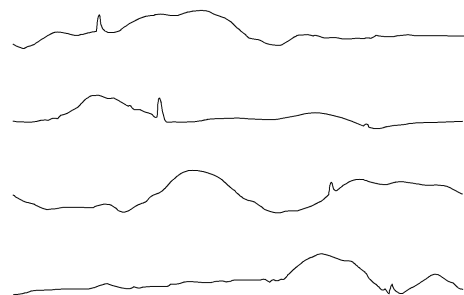


图5 含有较大振动信号的过靶波形

(下转第17页)

表4 改进设计后设备的测向误差 /($^{\circ}$)

目标	驻车摆向 /($^{\circ}$)						
	20	53	105	161	214	286	335
1	1.1	1.6	2.1	1.5	-1.9	-1.9	1.1
2	1.2	1.2	1.7	1.4	-2.1	-1.9	0.9
3	1.2	1.2	-0.3	1.9	-1.8	-1.5	1.9
4	1.6	2.1	0.5	1.8	-1.4	-1.4	1.8
5	1.7	1.7	1.7	1	-0.5	-1.2	1.9
6	1.4	1.4	1.9	0.8	-0.7	-0.9	2.0
7	1.5	2	2	0	-0.2	-0.6	1.8
8	2	1.5	1.5	0.1	-0.2	-0.6	1.8
9	1.3	1.8	0.3	0.1	0.1	-0.6	1.7
10	1.6	1.6	0.1	1.1	-0.4	-0.4	1.2
11	0.9	1.4	0.9	0.7	-0.9	-0.9	0.6
12	1.1	1.6	1.6	1.2	-0.9	-1.6	0.4

4 结 束 语

电子罗盘在各种领域已经获得了广泛的应用.文中以工程应用为背景,分析了电子罗盘应用出现的问题,并给出了3种解决方案,最终成功解决了这个工程应用问题,为电子罗盘的应用提供一种新的思路.

参考文献

[1] 张开明. 地磁场水平分量测量方法的探索[J]. 太原

师范学院学报,2007(2):88-91.

- [2] 陈正想. 小型化技术与数字磁罗盘的开发[J]. 水雷战与舰船防护,2005(1).
- [3] Honwell Company. HMR3000 datasheet,2002.
- [4] Caruso M J. Applications of magnetoresistive sensors in navigation systems[J]. Sensors and Actuators, 1997, 42(9): 15-21.
- [5] 陈光. 最小二乘曲线拟合及 Matlab 实现[J]. 兵工自动化,2005(3):107-108.

(上接第12页)

2种信号宽度不同采用信号匹配法来确定弹丸过靶波形.具体方法是通过分析第一发弹丸过靶波形的脉冲宽度,以该宽度为基准(第一发弹丸过靶波形受振动信号影响较小),顺序向后寻找与该脉冲宽度匹配的脉冲信号^[6].找到匹配脉冲信号后即可对特征点进行判别.脉冲匹配法在振动信号较大而弹丸信号较小时容易引起误差,因此实弹测试时应采取必要的减振措施.

3 试验结果及结论

系统经过实弹射击后,弹丸以5发一组,分别射击,测试结果表明,弹丸的速度变化幅度不超过3%,射频不超过4%.在采取减振措施后,弹丸过靶波形受振动信号的影响较小,没有发生弹丸误判情况.

随着光电子技术和制造技术的纵深发展,如何实现“测时”这一关键环节的快捷化、智能化、自动化、实

时化成为测试工作解决的主要问题.当前,信息光电子技术蓬勃发展,半导体激光器应用日益广泛,激光测速系统也步入了一个崭新的发展时期.基于激光光幕的连发测速系统除了对连发弹丸过靶速度和射频进行测试外,同样可以应用于单发弹丸过靶速度的测试.在靶场测试设备中有广阔的应用前景.

参考文献

- [1] 蔡荣立. 一种抗光干扰光幕靶的设计与改进[J]. 光学技术,2006(9).
- [2] 王斌,赵冬娥. 带光电直流补偿的激光测速靶系统设计[J]. 弹箭与制导学报,2009(5).
- [3] 喻俊志,王高,赵冬娥. 激光测速靶结构优化的光路分析[J]. 测试技术学报,2001,15(1):1-5.
- [4] Bruce Eckel,Chuck Allison. C++编程思想[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [5] 杨锋. 数值分析[M].北京:科学出版社,2000.
- [6] 倪永州,田跃. 一种快速模板匹配的波形识别算法[J]. 传感器世界,2006(4).