

文章编号: 1001-3806(2013)06-0728-03

铅球运动参量光电测试系统设计

焦 宁¹, 连素杰², 姜爱华¹, 王 高¹, 刘丽双^{1*}, 殷军勇¹, 闻 强¹, 郭伟平¹

(1. 中北大学 电子测试技术国家重点实验室, 太原 030051; 2. 中国人民解放军 63856 部队, 吉林 137001)

摘要: 为了帮助铅球运动员快速提高成绩, 设计了一种新的铅球运动参量测试系统。该系统由一组基于菲涅耳透镜的激光平行光幕和光敏二极管阵列组成, 采用现场可编程门阵列进行信号处理。该方法可以方便地测试铅球的出手角度和速度, 并将测试结果直观地显示在液晶显示屏上。结果表明, 该系统设计新颖、结构简单、成本低廉, 可作为运动员日常训练之用, 具有广泛的应用前景。

关键词: 测量与计量; 激光技术; 角度; 光敏二极管阵列; 速度; 现场可编程门阵列

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A **doi:**10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.06.005

Design of an optic-electric system for measuring shot motion parameters

JIAO Ning¹, LIAN Su-jie², JIANG Ai-hua¹, WANG Gao¹, LIU Li-shuang¹,
YIN Jun-yong¹, WEN Qiang¹, GUO Wei-ping¹(1. National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China;
2. 63856 Unit, Chinese People's Liberation Army, Jilin 137001, China)

Abstract: In order to help shot athletes improve their score quickly, a new shot motion parameter measuring system was designed. The system consists of a set of laser parallel light curtain based on Fresnel lens and photodiode array, using field-programmable gate array (FPGA) for processing signals. The method can measure the shot angle and velocity conveniently and display the measurement results on the liquid crystal display (LCD) monitor intuitively. The results show that the system design is novel, structure-simple and low-cost, which can be used by athletes for daily training and has wide application prospects.

Key words: measurement and metrology; laser technique; angle; photodiode array; velocity; field-programmable gate array

引 言

体育运动中的投掷项目是以投掷物空中飞行的水平距离作为竞赛指标的^[1]。铅球投掷的远度主要取决于出手速度、出手角度和出手高度3个因素。在训练和比赛中, 如果能用简便方法及时地获取这方面的反馈信息, 教练员就能够及时对运动员的技术和能力进行较客观地分析, 以便有目的地采取相应措施, 进行正确的训练和临场指导。其中出手高度与人的身高有关, 因此, 反映投掷能力的主要参量是出手速度与出手角度。在现代铅球训练实践中, 如何为铅球投掷训练提供优化技术训练的信息即时

反馈系统, 已成为迫切需要研究的课题^[2]。

理论上测速的方法很多, 如网球比赛中采用多普勒测速仪^[3]、马路上使用的感应测速仪等。具体分析铅球运动特点, 多普勒测速仪仅能给出速度, 不能计算出射角度; 感应测速仪也不能给出角度, 而且是接触式的, 无法用于铅球的多参量测试。目前大部分铅球训练仪器结构比较简单, 只能测量角度、速度其中之一参量, 并且测量显示不直观、使用不方便。所以设计一种直观显示测量结果, 并能同时测量角度和速度两个参量的仪器是很有必要的。

本文中设计了以半导体激光器^[4]、菲涅耳透镜^[5]为光源发射部分, 以光敏二极管阵列^[6]为光接收部分, 以 Altera 公司的现场可编程门阵列 (field-programmable gate array, FPGA) 芯片作为处理器, 用液晶显示屏 (liquid crystal display, LCD) 显示测量结果的测试系统。

作者简介: 焦 宁 (1986-), 男, 硕士研究生, 主要从事光电仪器方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: lls@nuc.edu.cn

收稿日期: 2013-01-17; 收到修改稿日期: 2013-04-24

1 测试原理

铅球运动参量测试系统是利用运动物体经过两平行光幕的时间和位置来求物体的出手速度和角度的。半导体激光器和菲涅耳透镜组成光源部分,光敏二极管构成的传感器阵列为接收部分,它们分别安装在两个支撑结构上,放置在运动员的两侧。激光器射出的光经过菲涅耳透镜整形为平行光^[7]投影到对面的光敏二极管阵列上,当运动员投掷出的铅球通过平行光幕时,阻挡了投射到光敏二极管阵列上的光,据此信息可以得知铅球的位置。系统结构示意图如图 1 所示。通过在间隔距离为 L 的位置布置一组相同的半导体激光器、菲涅耳透镜和光敏二极管阵列。当有物体经过菲涅耳透镜与光敏二极管阵列之间的光幕时,光敏二极管阵列相应的引脚输出低电平经过反相器变为高电平作为 FPGA 的触发信号,经过前一个光幕时产生的触发信号启动计时器并确定物体进入光幕区域位置,经过后一个光幕时产生的触发信号停止计时器并确定物体离开光幕区域的位置,并且根据铅球通过两个激光光幕时在光敏二极管阵列上的投影位置可以计算出铅球的出手角度,再根据通过两光幕的时间与位移可以计算铅球通过的速度。当显示屏上出现角度与速度时,证明两个光幕都触发且物体经过后一光幕的位置高于前一光幕;显示屏上只显示速度,证明两个光幕都触发且物体经过后一光幕的位置低于前一光幕或与前一光幕在同一水平面上;显示屏上角度与速度都不显示,证明后一光幕没触发。

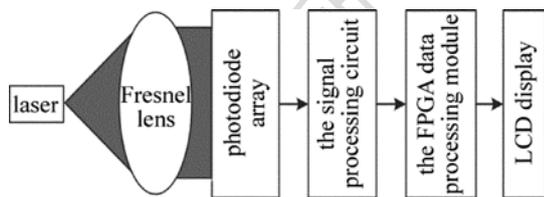


Fig. 1 System structure diagram

1.1 角度计算

投掷出的铅球先后穿过前、后端光源部分发出的平行光幕,由其相对应的传感器阵列获取铅球的通过位置,将铅球入射前端光幕的位置与出射后端光幕的位置相减,可以得出铅球飞过两个平行光幕的高度变化值 H ,两光幕的距离为 L ,则铅球出手的角度 θ 为:

$$\theta = \arctan\left(\frac{H}{L}\right) \quad (1)$$

1.2 速度计算

如图 2 所示,铅球在前端平行光幕和后端平行光幕间经过的位移可以用通过两个光敏二极管阵列的直线距离近似表达。铅球经过两平行光幕的时间差为 ΔT ,则铅球运动的平均速率 v 为:

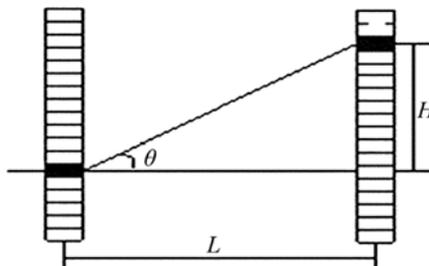


Fig. 2 Shot after a diode array projector position diagram

$$v = \frac{L}{\cos\theta\Delta T} \quad (2)$$

2 系统设计

铅球运动参量测试系统主要由半导体激光器、菲涅耳透镜、光敏二极管阵列、触发模块、FPGA 模块、LCD^[8]显示模块、系统电源及一些相关外围电路组成。

2.1 平行光幕的形成

本系统采用输出波长 650nm,光斑形状为一字型的半导体激光器作为光源,采用 30mm × 300mm 的长方形菲涅耳透镜将半导体激光器发出的激光整形形成平行光,进而利用平行光准确地确定铅球的位置。激光平行光幕形成原理图如图 3 所示。

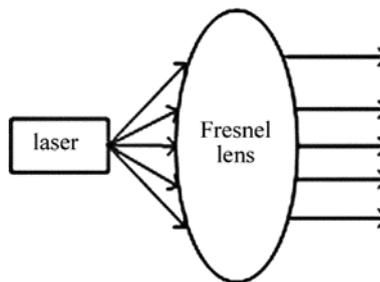


Fig. 3 Schematic diagram for laser parallel light curtain

2.2 数据的采集与处理

本系统中采用两个由 30 个直径为 8mm 的光敏二极管组成的光敏二极管阵列作为光接收器件实现光电转换,对光信号进行采集并传输至后续电路;光电转换模块实现对采集到的光信号进行光电转换和放大功能;触发电路对光电转换模块输出的电压信号进行处理和变换,使其符合 FPGA 模块的采集要求;FPGA 模块采用的是 Cyclone II 系列的 EP2C

8Q208C 芯片,主要完成计时、速度计算、角度计算、LCD 显示屏的驱动等;LCD 显示模块将速度、角度信息直观地显示出来;数据处理模块原理如图 4 所示。图中 s 为铅球出手位置与落地点的水平距离。

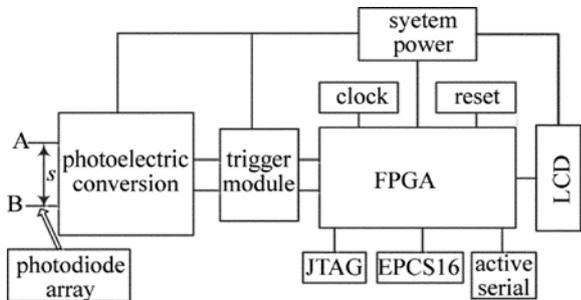


Fig. 4 Schematic diagram of the data processing module

FPGA 处理电路^[9-10]主要由计数模块、除法器模块、二十进制编码(binary-coded decimal, BCD)制转换模块及 LCD 驱动模块组成,FPGA 逻辑电路实现原理如图 5 所示。

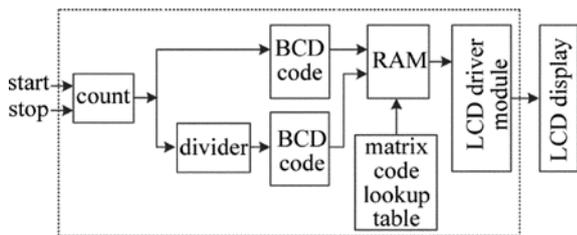


Fig. 5 FPGA logic circuit schematics

3 实验结果及分析

把两个光敏二极管阵列间隔 200mm 固定在一个长方体箱子的面板上,在距离光敏二极管阵列 600mm 处固定与光敏二极管阵列相对应的菲涅耳透镜,在距离菲涅耳透镜 650mm 处的焦点处固定与之对应的激光器,利用该系统对小皮球和铅球分别进行实验,通过下面公式求出距离并与实际测量距离进行比较:

$$\begin{cases} t = \frac{v \sin \theta}{g} + \sqrt{\frac{(v \sin \theta)^2 + 2hg}{g}} \\ s = v \cos \theta \cdot t \end{cases} \quad (3)$$

式中, t 为铅球出手到落地的时间, h 为人的身高, g 为重力加速度。

实验结果如表 1 所示。

由表 1 可知,用本系统测出的速度与角度计算出的距离与实际测得的距离仅相差在 3cm ~ 5cm 范围,由于空气的阻力,实际距离比理论距离小是正常的,因此,可知该系统测试比较准确。

Table 1 Ball and shot the test results

ball	height h/m	angle $\theta/(^\circ)$	speed v $/(m \cdot s^{-1})$	calculated distance/m	measured distance/m
small ball	1.7	11.31	3.54	2.31	2.28
small ball	1.7	25.52	5.58	4.47	4.42
small ball	1.7	37.56	6.75	6.12	6.08
shot put	1.7	42.32	7.56	7.29	7.26
shot put	1.7	35.35	6.12	5.25	5.21
shot put	1.7	31.76	5.73	4.73	4.68

4 结 论

该系统运用激光平行光幕和光敏二极管阵列组成测试系统,通过区截测速的原理来测试铅球飞行速度,运用光敏二极管阵列来探测铅球位置来求出铅球出手角度。与当前只能测量角度和速度其中之一的参量的的仪器相比,该系统可以同时测试角度和速度,而且可以直观地显示测量结果。

该系统具有测量准确、显示直观、结构简单、成本低廉和使用简单等特点,非常适用于投掷球的投掷训练,具有很高的实用价值。

参 考 文 献

- [1] SUN J, GUO Sh R. The further development of the instrument measuring speed for the thrown ball from hand[J]. Journal Tianjin Institute of Technology, 1993(2):7-10(in Chinese).
- [2] DAN H X, JIN J Ch. A study of real time flying variables feedback system for shot put [J]. Journal of Xi'an Institute of Physical Education, 2004, 21(4):43-46(in Chinese).
- [3] ZHANG Y Y, GONG K, HE Sh F, et al. Progress in laser doppler velocity measurement techniques[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(11):1157-1162(in Chinese).
- [4] ZHANG R F, KONG L H, LU Ch G. Design of constant-current source for high power semiconductor laser diode[J]. Laser Technology, 2012, 36(1): 80-83(in Chinese).
- [5] TANG D Y, LI X N, YANG P Q, et al. Aberration comparison of biconvex and plane-convex Fresnel lenses[J]. Journal of Applied Optics, 2008, 29(5):719-723(in Chinese).
- [6] LUO Q, LIU W H, ZHANG Q Y. Application of photodiode array detector in analytical instrument[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2001, 29(4): 374-378(in Chinese).
- [7] HAN L Y, ZHOU H Ch, ZHAO D E. Study on the parallelism and uniformity of semiconductor laser screen[J]. Journal of Missiles and Guidance, 2008, 28(5):281-282(in Chinese).
- [8] CHEN Zh, LI H, CHEN X. Design and implementation of large-screen LCD controller[J]. Computer Technology and its Applications, 2011, 37(6): 123-126(in Chinese).
- [9] MA X L, YAN Zh M, DONG L, et al. Design of velocity measuring system with single light curtain based on FPGA[J]. Modern Electronics Technique, 2009, 32(12):1-3(in Chinese).
- [10] XIA Y W. Verilog digital system design guide[M]. Beijing: Aeronautics and Astronautics University of Beijing Press, 2008: 102-121(in Chinese).