

无线激光打靶器系统建模与设计

谢海燕<sup>1</sup>, 谢 勇<sup>1</sup>, 顾敏芬<sup>1</sup>, 梁忠诚<sup>2</sup>

( 1 南京师范大学 物理科学与技术学院, 江苏 南京 210097;  
2 南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 无线激光打靶器利用对信号的编码和解码来实现靶与枪的分离. 即采用数字脉冲编码方式对控制系统信号进行调制, 将信息加载在光脉冲序列上发射出去. 光信号经过大气和光纤的传播, 由光电二极管探测阵列利用扫描和解码过程将其接收, 并转换成电信号, 再经过放大、整形后送到单片机中进行处理. 最后利用 IC 卡将处理过的数据传送到微机中进行计算、修正和模拟. 此外, 通过对大气衰减系数、放大器放大能力、光电二极管接收灵敏度等一些参数进行分析, 建立了整个无线激光打靶器的光电系统数学模型. 根据该光电系统数学模型, 可清楚地知道各个参数对整个系统性能的影响, 以及各个参数相互之间的关系, 并可计算出在一定的条件下能够实现的射击距离. 为今后对整个系统的改进和优化提供了理论依据.

[关键词] 无线激光打靶器, 系统模型, 优化设计

[中图分类号] TN 242 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292-( 2005) 01-0068-04

Modeling and Design of a New Laser Target Practice System

X E Haiyan<sup>1</sup>, X E Yong<sup>1</sup>, GU M infen<sup>1</sup>, LANG Zhongcheng<sup>2</sup>

( 1. School of Physical Science and Tedsnology Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210097, China  
2. School of Electrical and Automation Engineering Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210042, China)

**Abstract** The paper introduces the basic principle of the laser target practice system, and specifically illustrates the whole design of device from hardware and software aspects. The system uses coding and decoding of information to realize the separation between the target and the gun. Namely, it uses digital pulse coding method to modulate the signal of control system, and send out a series of light pulses loaded with information. By the medium of air and polymer optical fiber, an array of photoelectric diodes convert optical signals received in scanning process and decoding process into electric signals. Amplified and adjusted, the electric signal is sent to Single Chip Microcomputer to judge and process. IC card is used to exchange the data between the target system and the computer where the data will be further processed. In addition, the paper analyzes such parameters as atmospheric attenuation coefficient, the amplified ability of amplifier and receiving sensibility of photoelectric diode to set up a mathematic model of the photoelectric system. By using it, we can know clearly the influences each parameter has on the entire system's performance, relationship among each other, and can calculate the shooting distance which is realized in some given conditions, thus providing a theoretical basis of farther improving and optimizing the entire system.

**Key words** laser target practice, model system, optimize and design

0 引言

常见激光打靶器有以下缺点: ( 1) 靶与枪通过控制线连接, 携带不便, 且射击距离受控制线长度限制; ( 2) 光电探测管按一定规律直接排布在靶面上, 易受背景光的影响, 同时光电管尾端必须使用

较长导线连接, 易受噪声干扰; ( 3) 一般不考虑实际射击现场风速和风向对子弹的影响, 数据不能准确反映射击结果; ( 4) 射击结果不进行存储. 为克服这些缺点, 我们在已有的一种激光打靶器<sup>[1]</sup>的基础上, 对其结构进行优化, 设计并研制出新型的无线激光打靶器. 本文从它的系统建模以及软件设

收稿日期: 2004-08-05  
基金项目: 江苏省光电技术重点实验室开放基金资助项目 (K99019)和江苏省高校自然科学基金资助项目 (01KJB140004).  
作者简介: 谢海燕( 1980- ), 女, 硕士研究生, 主要从事光电技术及系统方面的学习和研究. E-mail: qiaqia\_80@sina.com  
通讯联系人: 梁忠诚( 1958- ), 教授, 博士生导师, 主要从事光电技术及系统等方面的教学与研究. E-mail: zcliang@njnu.edu.cn

计等方面进行了详细的介绍。

1 工作原理

激光打靶器是一个集光学、电子学、计算机和信息处理等于一体的光电系统。整个系统由 3 个子系统组成: 信号发射系统、信号接收系统、数据处理系统。在发射系统中, 信号通过数字脉冲调制后转换成电信号, 驱动半导体激光器发射出加载了信息的光脉冲序列, 经传输介质——大气, 到达接收系统。接收系统中的光学系统首先把光信号采集进来, 送到光电探测器, 将光信号转换成电信号, 再对电信号进行分析与处理, 并通过 IC 卡把数据传送到微机中, 利用微机对数据进行记录、解调、计算和修正, 得到所需信息和射击结果。

2 系统设计

2.1 信号发射系统

整个发射系统即为一激光枪。为实现靶枪分离, 同时接收系统又能实时跟踪发射系统的操作, 就要求发射系统中的控制信号必须随激光束传送到接收系统中。因此我们对控制信号进行了数字脉冲调制。发射系统的电路框图如图 1 所示。

整个发射系统由控制按钮、单片机、74LS165 移位寄存器<sup>[2]</sup>、半导体激光管及其驱动电路组成。

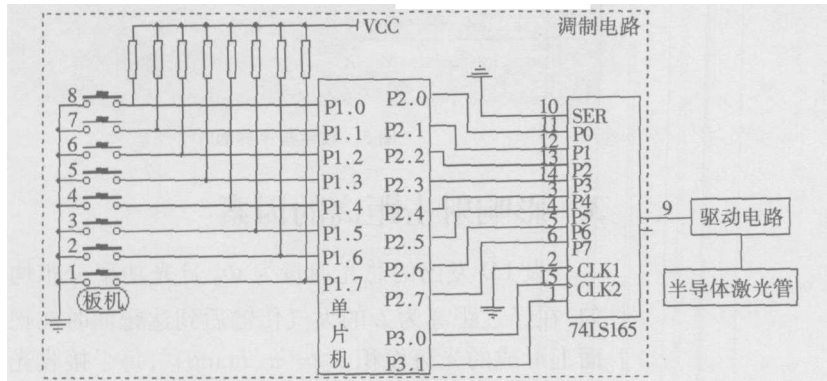


图 1 发射系统电路框图

为了确定弹着点的准确位置, 我们必须判断哪只管子接收到信号。因此我们把光电二极管按一定规律排成多列线阵。每个光电二极管由 MOS 管控制其导通与断开。当单片机发出指令, 通过 P3 0 口和 P3 1 口使移位寄存器按一定时序产生高电平时, 对应的 MOS 管导通, 将光电二极管的信号取出, 通过低噪声运算放大电路和比较电路后送到单片机接收端。同时我们让单片机接收端一直处于检测状态, 只要检测到接收端有高电平, 即认为有发射, 开始进行记录 and 数据处理。图 3 为接收系统的

8 个控制按钮用来控制发射模式, 1 号按钮是扳机, 其余几个按钮分别对应单发或连发、模拟枪型和发射的子弹数。开始工作后, P1 7 口处于连续的检测状态。当按下扳机, P1 7 检测到电平跳变, 触发单片机, 读入 P1 口的所有信号, 经过内部处理后由 P2 口送到移位寄存器中。在 P3 0 和 P3 1 的控制下, 移位寄存器将并行信号变成串行的 24 位数字信号, 送到驱动电路中驱动半导体激光管, 使之发射出一列加载了信息的光脉冲序列。

发射系统光源我们采用了波长 650 nm、功率 10mW 的半导体激光器。激光器前端是一个可调准直透镜, 可根据射击距离不同进行调节, 使射到靶面的光束为一定大小的圆形光斑。

2.2 信号接收系统

传统激光打靶器靶面直接将光电二极管按矩形或圆形排列, 此法易受背景光干扰。我们用直径 2mm 的聚合物光纤束端面代替传统靶面中的光电二极管。通过光纤把光传送到对应的硅光电二极管 (2CU 型) 上, 使之和信号处理系统集成在一起, 减少引线过长引起的电磁干扰。同时利用光纤有限的孔径角, 抑制漫射光和背景光, 提高系统的抗干扰能力。另外光纤束的排列组成正六边形, 如图 2 所示, 采用该种排列方法并辅以我们设计的信号处理方法, 使射击器的弹着点分辨率得到较大的提高。

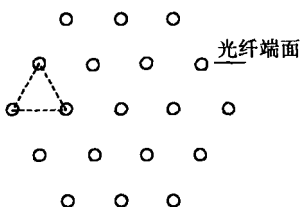


图 2 接收靶面示意图

结构示意图。

另外, 考虑到远距离射击时, 射击者的轻微抖动, 将会对接收系统的接收产生很大的影响。要减少这种影响必须尽量缩短接收时间。为此我们使用了线阵模式,  $N$  列线阵同时进行工作, 从而使接收时间缩短到原来的  $1/N$ , 较大地提高了时间分辨率。

在发射和接收系统中, 为使硬件系统很好的完成对光信号的发射、检测、接收和存储, 还必须辅以相应的软件程序。图 4 是扫描程序的软件流程图。通过该程序可把 24 位信号取出, 记录相应的接收

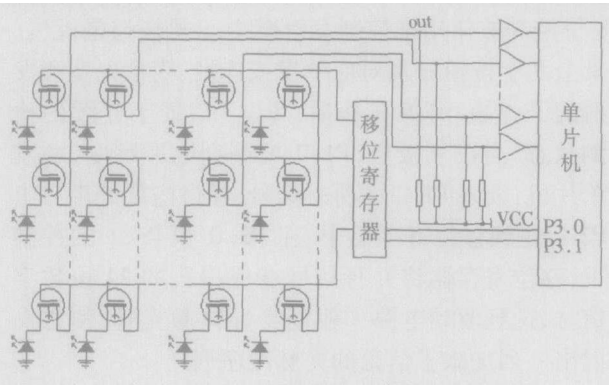


图 3 接收系统结构示意图

管的位置, 显示出射击结果. 此外, 为了消除抖动, 还需进行延时检测.

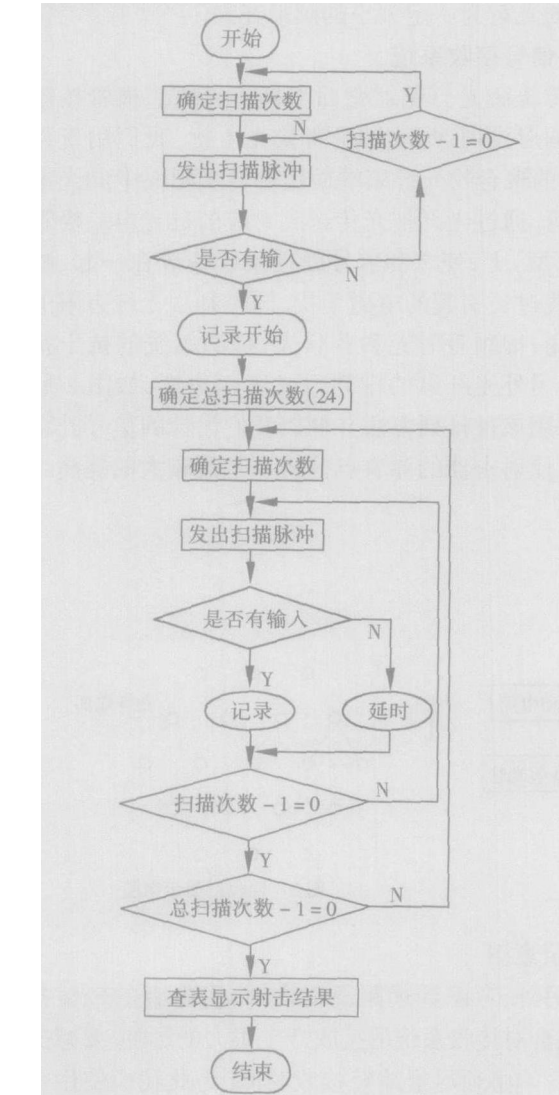


图 4 扫描程序软件流程图

2 3 数据处理系统

数据处理系统主要由 4 部分组成. (1) 环数确定部分. 通过扫描过程找出光斑覆盖的所有探测点, 再根据对应的位置坐标, 利用求平均的方法确

定出弹着点的中心位置, 最后根据预先设定好的“位置—环数”对应表得到环数. (2) 信息还原部分. 接收系统要能准确还原 24 位数字信号, 让扫描电路进行 24 次扫描, 按位还原. 在每次扫描中, 只要任一只管子有信号输出, 该位则为“1”, 否则为“0”. (3) 数据存储部分. 当接收系统把信号取出后, 经过分析、处理, 以数据形式暂存在单片机内, 在单片机和微机上分别连接一个 IC 卡读写头, 通过 IC 卡存储数据. (4) 数据重现部分. 当把数据存储到微机后, 利用微机强大的模拟功能, 再辅以特定的软件模拟射击情景, 在屏幕上重现各次射击过程, 并能把各次射击的情况合成到一幅图上, 更好的帮助射击者了解、分析自己的射击情况. 另外, 考虑到实弹射击时由于重力、风速和风向带来的影响, 可以通过微机进行弹道修正, 使得结果更符合实际.



图 5 软件程序界面

3 影响射击距离的因素

设 LD 发出的总光通量为  $\Phi_0$  且光功率分布均匀, 在经过距离为  $L$  的大气传输后到达靶面时在靶面上形成的光斑面积  $S_A = \pi (L \tan \theta)^2$ , 每个接收光纤端面的面积为  $S_B$ , 则根据郎伯定律, 每个接收光纤端面接收到的光通量为:

$$\Phi_1 = \frac{S_B}{\pi (L \tan \theta)^2} \Phi_0 \exp[-\beta L]$$

(1)

光在光纤中传输时呈指数衰减, 损耗系数  $\alpha_R$ , 光纤长  $L_G$ , 另考虑光纤端面接收系数为  $\eta_1$ , 光从光纤耦合进入光电二极管时, 光电二极管接收系数  $\eta_2$ , 设光敏面的面积为  $S_C$ , 可得单个光电二极管的光敏面上最终能够接收到的光通量为:

$$\Phi_2 = \Phi_1 \exp[-\alpha_R L_G] \times \frac{S_C}{S_B} \eta_1 \eta_2 =$$

$$\frac{S_C}{\pi(L \tan \theta)^2} \Phi_0 \exp[-\alpha_R L_C] \exp[-\beta L] \times \eta_1 \eta_2 \quad (2)$$

设前置放大器最小输出电压的变化  $\Delta V_m$ , 放大倍数  $A_V$ , 可得光电二极管在受光照时要产生  $\Delta V_m / A_V$  的电压变化, 光电二极管光敏面光照度

$$\Delta E = \frac{\Delta V_m (G + G_L)}{S_E A_V}, \text{再考虑光敏面的面积 } S_C \text{ 和光}$$

谱响应系数  $S_D$ , 就得到在满足系统要求时, 光敏面上接收的光通量:  $I = \frac{(G + G_L) \Delta V_m}{A_V} = 1 \times 10^{-7} \text{ A}$ .

那么要满足能产生  $\Delta V_m$  的电压变化, 必须要求  $\Phi_2 \geq \Phi_3$ , 整理可得

$$\frac{1}{L^2} \exp[-\beta L] \geq \frac{(G + G_L) \Delta V_m \pi \tan^2 \theta}{A_V S_E S_D \Phi_0 \exp[-\alpha_R L_C] \eta_1 \times \eta_2} \quad (3)$$

由 (3) 式可知影响射击距离的主要因素有: 光源光通量  $\Phi_0$ , 激光束发散角  $\theta$ , 大气衰减系数  $\beta$ , 光纤传输损耗  $\alpha_R$ , 光纤长度  $L_C$ , 光电接收管的灵敏度  $S_E$ , 频谱响应系数  $S_D$  及漏电导  $G$  和负载电导  $G_L$ . 前置放大器的放大倍数为  $A_V$  和最小能够分辨的电压变化为  $\Delta V_m$ .

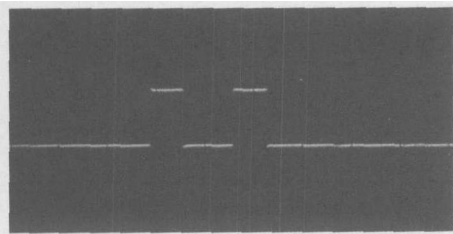


图 6 单列接收信号的波形图

使用功率 10mW 的激光器作为发射光源,  $\theta = 0.04^\circ$ ,  $\alpha_R = 200 \text{ dB/km}$ ,  $L_C = 0.3 \text{ m}$ . 设  $\eta_1 = \eta_2 = 0.961$  由 2CU2A 型光电二极管特性,  $\theta = 0.04^\circ$ ,  $S = S_E \cdot S_D = 2.1 \times 10^{-8} \mu\text{A/lx}$ ,  $I = \frac{(G + G_L) \Delta V_m}{A_V} = 1 \times 10^{-7} \text{ A}$ , 由 (3) 式计算得射击距离约为 500m.

## 4 实验测试结果

发射系统和接收系统均已研制成功, 并在晴朗的天气, 80 m 的射击距离条件下进行了测试取得了较好的效果.

图 6 为接收系统在扫描过程中, 对某一列光电二极管进行扫描后得到的波形图. 光束照到该列两个相邻的接收点上, 扫描时经过处理后输出电压为连续的高电平. 没有接收到光照的点, 输出电压仍保持低电平. 实验时, 每列各有 5 个接收点, 图 6 中显示出该列第 2、3 两个接收点接收到光照, 1、4、5 则未接收到光照. 图 7 是接收系统接收到一颗子弹的所有信息后经过单片机处理后得到波形图. 由图可知该颗子弹波形为一个 24 位脉冲序列.

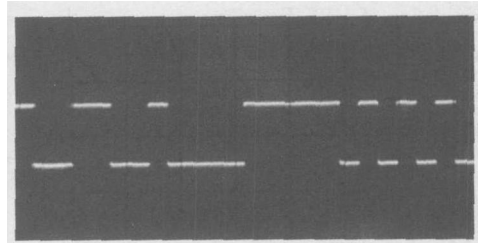


图 7 单颗子弹波形图

## 5 结论

我们研制的新型激光打靶器使用了数字调制和 IC 卡传送数据的方法, 摆脱了靶与枪、接收系统与微机间连接线的束缚, 并能根据需要调节射击距离, 使整个射击系统可以不受场所的限制, 有很强的适应性. 而接收靶面的独特设计及光纤的引入则使得整个训练器的抗干扰能力大大增强. 同时, 因能发射多位的光脉冲序列, 可以根据需要不同来加载不同的信息, 提高系统的灵活性. 另外, 对子弹进行编号和采用微机进行数据处理、模拟和修正, 提高了训练器的分析能力和系统性能. 建立了该打靶

机的系统模型, 对系统的进一步优化和设计提供了理论依据.

### [参考文献]

- [1] 梁忠诚, 顾敏芬. 无线激光打靶机 [P]. 中国专利: 00220660.9 2000
- [2] 吴立新. 实用电子技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002
- [3] 贺安之, 阎大鹏. 现代传感器原理及应用 [M]. 北京: 宇航出版社, 1995.

[责任编辑: 刘健]