

## 半实物仿真中的高精度激光回波模拟技术

高 阳 ,雷 杰 ,虞 红 ,刘 扬 ,刘继桥

(北京仿真中心航天系统仿真重点实验室 ,北京 100854)

**摘 要:** 过去寻的探测系统只获得目标的二维信息 :俯仰角度信息和偏航角度信息。在战场环境日益复杂的今天 ,目标和导弹的速度都越来越快 ,飞行控制的时间也越来越短。由于这些变化 ,过去的探测系统的能力渐渐不能满足现代作战需求。随着应用需求的不断扩展 ,需要在制导过程中能够获得更加丰富的目标位置信息 ,不仅是方位角度信息 ,还应包括距离信息。于是 ,激光测距技术成为制导领域的一个研究热点。针对激光测距系统的测距功能和测角功能研制了一套回波模拟系统 ,称之为激光回波模拟器。对验证激光测距系统性能的半实物仿真系统进行了系统设计 ,并实验验证了这套系统的可行性。

**关键词:** 激光回波模拟 ; 激光测距系统 ; 半实物仿真

中图分类号 : TN21 文献标志码 : A 文章编号 : 1007-2276(2012)01-0196-04

## Technology of simulation for high-precision echo laser

Gao Yang, Lei Jie, Yu Hong, Liu Yang, Liu Jiqiao

(National Key Laboratory of Science and Technology on Aerospace System Simulation,  
Beijing Simulate Center, Beijing 100854, China)

**Abstract:** Along with the expansion of application demand, the new generation of guiding system must be able to obtain rich information in the detection process, including angle and distance information. Therefore, laser ranging technology becomes a hot spot in the field of guiding field. In order to provide the simulation experimental conditions for laser ranging technology, a lot of works on laser echo simulation were done. In this paper, the development of the echo simulation system was described, which had the characteristic of angle and distance measurement for the laser ranging system. This system was named as laser echo simulator. The simulator could give the proper echo signal with a corresponding delay after receiving the trigger signal from the detection system. The echo characteristic and delay control capacity were analyzed. The hardware-in-the-loop system design was presented to verify the performance of laser ranging system. The experimental results indicate the feasibility of the system.

**Key words:** laser echo simulation; laser ranging system; hardware-in-the-loop

收稿日期 : 2011-05-05 ; 修订日期 : 2011-06-13

基金项目 : 重点实验室基金 (9140C600204)

作者简介 : 高阳 (1979-), 男, 工程师, 研究方向为光学目标特性。Email:sun2463@163.com

## 0 引言

过去寻的探测系统只获得目标的二维信息：俯仰角度信息和偏航角度信息。在战场环境日益复杂的今天，目标和导弹的速度都越来越快，飞行控制的时间也越来越短。由于这些变化，过去的探测系统的能力渐渐不能满足现代作战需求。随着应用需求的不断扩展，需要在制导过程中能够获得更加丰富的目标位置信息，不仅是方位角度信息，还应包括距离信息。于是，激光测距技术成为制导领域的一个研究热点<sup>[1]</sup>。在这种需求的牵引下，半实物仿真技术需要开展包括激光测距原理、仿真方法、验证手段在内的一系列针对激光测距设备的研究工作。

## 1 激光测距系统的功能及原理

文中的激光测距系统有 2 个主要功能，测距和扫描。

激光测距的方法主要有脉冲法（激光飞行时间法）、相位法、三角法等<sup>[2]</sup>。文中采用的是最常见的激光测距法，即激光脉冲飞行时间法。

### 1.1 脉冲激光测距系统的原理

从一个固定的位置向目标发射一个激光脉冲，激光脉冲会经目标反射，一小部分会回到脉冲的发出点<sup>[3]</sup>。称激光发射点为测距点，把这一小部分回到测距点的激光脉冲称为激光回波，激光回波会被安装在测距点的光电探测器接收。设测距点到目标的距离为  $R$ ，激光脉冲往返于测距点和目标的时间为  $T$ ，能得到如下公式：

$$R = \frac{1}{2} cT \quad (1)$$

式中： $c$  为光速， $c=3 \times 10^8$  m/s。所以，距离  $R$  和激光飞行时间  $T$  是线性相关的。

图 1 是脉冲激光测距系统的原理图。脉冲激光测距系统由 3 部分组成，激光发射部分、激光接收部分和信号处理部分。

激光测距系统工作过程如下：首先由激光器发射一个激光脉冲，称为主波。该激光脉冲经过发射光学系统后射向目标，同时即时系统会取出主波的一小部分作为起始参考脉冲送入比较电路。主波经目标反射后产生的激光回波回到测距点并被安装在测

距点的回波接收系统接收。回波接收系统分光学系统、光电探测器和信号放大器 3 部分。光电探测器接收穿过光学系统的光信号，并把光信号转换成电信号。经过信号放大器放大后，电信号被送入比较电路中。比较电路可以计算出起始参考脉冲和回波脉冲之间的时间，于是，根据公式(1)可以得到距离。

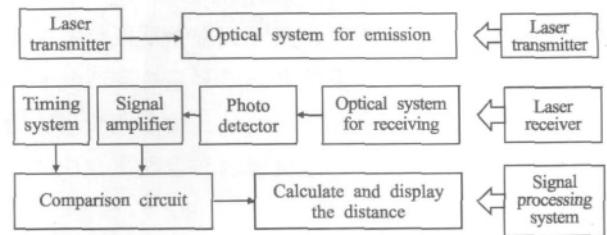


图 1 脉冲激光测距系统原理框图

Fig.1 Principle diagram of laser ranging system

### 1.2 扫描功能

该测距系统的扫描功能是指发射的激光信号沿瞄准方向以一个小角度按一定规律进行扫描，扩大了激光测距的范围，避免了当目标不在寻的系统光轴上时，由于激光照射不到目标而无法获得距离信息的情况。

## 2 仿真系统的构成及工作原理

在激光测距仿真中，有 3 个关键点。

(1) 回波应与激光测距机发射的探测激光信号的波长、脉宽等品质相同，只有回波与探测光性质相同，激光测距机的光接收系统才能识别，这是仿真成功的基础<sup>[4]</sup>；

(2) 高精度的延时控制<sup>[5]</sup>，这是仿真中最重要的一点，只有保证了延时的精度，才能保证仿真系统的距离精度，进而才能保证仿真系统对测距机的验证有意义。

(3) 高精度的角度测量能力对于精确验证测距机的扫描功能是必要的。

配有激光测距设备的寻的器的仿真系统主要由 4 部分组成，激光回波模拟系统、可见光目标模拟系统、三轴飞行转台、仿真计算机。系统原理见图 2。

文中称载有激光测距系统的寻的器为复合寻的系统，其仿真系统工作过程如下：

仿真主机控制目标系统，给出目标，同时给转台和多维复合寻的系统发出工作指令，复合寻的系统

的目标探测部分开始工作。发现并捕获目标后,激光测距系统开始工作。发出激光并进行测距,回波模拟系统接收到测距机的激光信号后,将其分成两路,一路进入测角装置分析其扫描光束的偏角,结合目标的距离和大小判断是否在目标范围内;另外一路,则被用来作为回波信号的触发信号。若在范围内,则通过延时系统给出相应距离产生的延时后,给出回波信号,回波信号通过光纤传导返回测距机,测距机根据回波信号来完成测距工作。复合寻的系统利用探测系统和激光测距机反馈的空间角度信息和距离信息,给出调整姿态的指令发给仿真主机,仿真主机控制转台做出相应的动作,从而完成整个仿真回路的闭环控制。

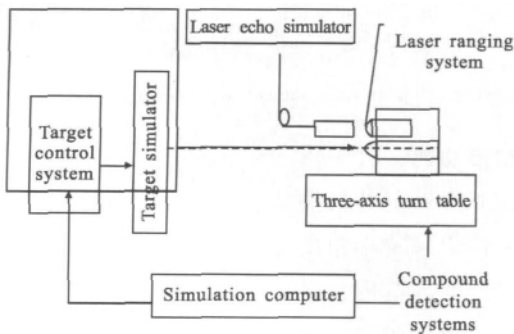


图 2 仿真系统原理图

Fig.2 Schematic diagram of simulator system for compound detection system

### 3 高精度回波模拟技术

在这套仿真系统中,关键器件是一套回波模拟系统。

回波模拟系统包括 5 部分。

(1) 激光发射器,主要功能是提供激光信号。

(2) 线性调制信号系统,作用是对激光发射器发出的激光信号进行调制,成为合适的脉冲信号。

(3) 延时控制系统,功能是产生一系列可精确控制的时间延迟,不同的延迟对应不同的距离。

(4) 激光回波触发系统,主要功能是在接收到激光测距系统的激光信号后,使延时控制系统开始工作,产生一个延时<sup>[6]</sup>。

(5) 扫描角度判别系统,主要功能是判别激光信号的落点位置。

### 4 回波模拟器的工作过程

激光回波模拟器的工作过程如图 3 所示。

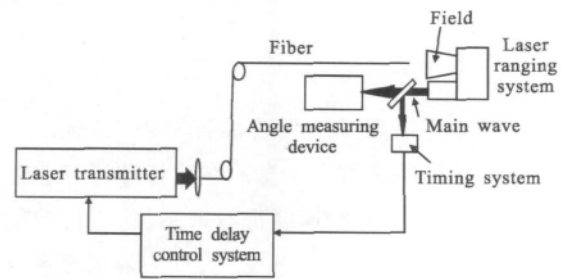


图 3 回波模拟器工作过程示意图

Fig.3 Schematic diagram of laser echo simulator system

测距机发出激光主波,主波被回波模拟系统分成两路。一路落在测角系统上,测角装置测量并记录激光的角度信息并判断是否发出回波。另一路,作为触发信号入射到触发探测器。触发探测器接收到激光后发送出电信号,延时控制器接到出光信号后,马上根据仿真机上传的距离信息计算延迟时间同时开始延时。经过延时的电信号驱动激光发射器发出激光回波,激光经光纤导入测距机的接收物镜。

## 5 回波模拟器的模拟能力

### 5.1 回波性质匹配

激光二极管具有与测距机的激光器几乎相同的激光波长和脉宽,保证了测距机中的光电探测器能够识别回波激光。

### 5.2 延时控制能力分析

延时控制器采用 FPDA 延时控制模块,采用计数器加延迟线插入的方法实现定时。延迟线由延时单元串联而成,这样延时控制器延时精度就由延时单元的固定延时时间决定<sup>[7]</sup>。延时单元的固定延时时间即延时控制器的延时分辨率约为 0.3 ns,延时控制器延时波动在 0.3 ns 以内,产生的距离误差为 0.09 m。

回波激光延时控制的时序如图 4 所示。

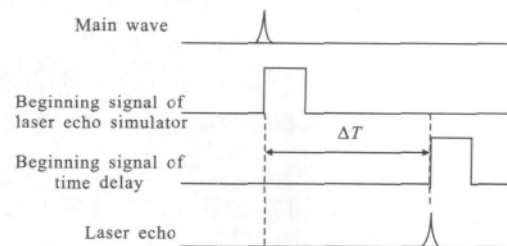


图 4 延时控制单元时序关系

Fig.4 Timing relation of time delay control cell

激光测距机发射激光,由触发探测器获取激光

的开始时间,根据仿真主机的距离信息控制延时,从延时系统得到信号开始到它给出延时信号有个 $\Delta T$ 时间, $\Delta T$ 实际上还包括了电路固有延时、计算机计算距离时所用的时间、FPGA延时控制器自身的延时等,经测试,系统的固定最短延时约86.4 ns,产生的距离模拟下限为13 m。

## 6 实验

实验验证分两部分。

(1) 对激光测距机的测试,首先在固定的距离摆放目标,用激光测距机测量,观察反馈的测量值,结果如表1所示,表中误差是0.1 m。

表1 测距机对固定距离探测结果

Tab.1 Measured values of settled distance from laser ranging system

Actual distance /m	Measured values of laser ranging system/m	Error /m
20	20.1	0.1
30	30	0
40	39.9	0.1

(2) 用回波模拟器模拟距离信息反馈给激光测距机,得到的结果如表2所示。

表2 测距机对回波模拟系统模拟距离的探测结果

Tab.2 Measured values of distance of laser echo simulated from laser ranging system

Simulated distance of laser echo/m	Measured values of laser ranging system/m	Error /m
20	20.19	0.19
30	29.91	0.09
40	40.18	0.18

## 7 结论

文中介绍了一种适用于激光测距设备的激光回

波模拟系统。系统采用FPGA延时控制模块进行延时控制,并应用于半实物仿真系统中,集成了接收测距激光、时间延迟、回波模拟及角度判断等功能,实现了高精度距离信息的模拟。在演示验证实验和半实物仿真基础实验中较好地完成了既定任务。这种方法丰富了仿真手段,给后续的型号工作和半实物仿真条件建设打下了良好的理论和实践基础。

参考文献:

- [1] Wang Kuangbiao. Key technology and development of laser guided weapon [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(5): 651-655. (in Chinese)
- [2] Su Jiangang, Fu Mengyin, Huang Yanjun, et al. Research on hardware-in-the-loop simulation technology for line of sight of laser guided weapons [J]. *Journal of System Simulation*, 2007, 19(8): 1717-1720. (in Chinese)
- [3] Makynen A J, Kostamovaara J T. A high-resolution lateral displacement sensing method using active illumination of a cooperative target and a focused four-quadrant position-sensitive detector [J]. *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, 1995, 44(1): 46-52.
- [4] Zhang Jinsheng, Wang Shicheng. Research on accurate control of angle of sight in laser guided weapon simulation system [J]. *Electronics Optics & Control*, 2005, 12(4): 19-23. (in Chinese)
- [5] Shen Yongfu, Deng Fanglin, Ke Xizheng. Scheme design of semi-physical simulation system for a laser-guided bomb seeker [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2002, 31(2): 166-168. (in Chinese)
- [6] Feng Longling. Method of simulated testing of pulse laser rangefinder [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(2): 127-129. (in Chinese)
- [7] Lin Yingkan, Guo Ying, Huang Genghua, et al. Distance source of laser range finder and its precision analysis [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(6): 1089-1093. (in Chinese)