

一种激光目标探测系统的模型仿真

A Model and Simulation of Laser Target Detecting System

赵桂芬/ZHAO Gui-fen, 邓甲昊/DENG Jia-hao

北京理工大学机电工程学院, 北京 100081

School of Mechatronics Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

[摘要] 为对激光探测系统的科学设计和性能评估提供有效指导,针对一种激光目标探测系统进行仿真建模,分析并建立了激光回波功率和光电转换模型,利用所建立的模型对探测系统进行仿真,经样机试验数据验证所建模型有效可行。通过对特定典型目标的仿真可以推断该激光探测系统能实现对目标的准确识别,并可以通过回波波形的差异区分具有不同外形的目标。

[关键词] 激光探测;探测方程;计算机仿真;激光回波模型

[中图分类号] TP391

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)12-0031-03

Abstract: The aim of simulation research is to provide effective guidance for scientific design and performance evaluation of laser detecting system. The simulation modeling is presented aiming at certain laser detector system. The laser echo power formulation and photo-electricity transform model are analyzed. The simulation of laser detecting system is carried out based on these models. Ultimately, the models mentioned are proved effective by detecting sample experiments. The simulation aiming at certain typical detecting target can deduce that the laser detecting system can realize target identification exactly and distinguish targets with different figure by the difference of echo waveform.

Key Words: laser detection; detection formulation; computer simulation; laser echo model

CLC Number: TP391

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)12-0031-03

1 引言

激光探测系统的可探测距离受发射功率、光束发散角、光束倾角、接收孔径、传输效率等因素影响,验证探测系统的精度和可靠性需要大量实验样本。仿真具有无破坏性、重复性、安全、经济、可控、不受气候条件和场地时间限制等优点,借助系统仿真可以探讨系统设计规律,优化设计系统参量。仿真建模是研究系统的重要手段和前提,构建有效的激光探测仿真模型和仿真软件,可以获得测距系统接近实际工作状态时的各项数据,从而为系统设计、性能改进提供有效指导。本文以激光近炸引信目标探测系统为研究对象,开展仿真建模和参量分析。

2 激光探测系统建模及分析

2.1 激光探测系统逻辑模型的建立

本文讨论的激光探测系统采用直接探测法(又称非相干探测),不要求光信号具有相干性,直接响应激光光场的强度变化,并相应地转化为电压的变化。探测系统包

括发射、接收、光学系统、信号处理等组成部分^[1,2]。其探测原理是由基准信号发生器产生的脉冲信号经过激励电路,激励激光器发出激光束,再通过发射光学系统发射出去;光束穿过大气介质到达目标表面,产生的回波信号再穿过大气介质;经接收光学系统直接入射到光探测器的光敏面上,由光探测器将光信号转化为相应的电流或电压;再经后续放大、滤波等信号处理电路,获得需要的处理信号。激光发射系统提

供激光发射脉冲,决定了激光脉冲的发射功率 P_t 、频率 f 、波长 λ 等主要参数。发射及接收光学系统决定光学系统透过率 τ_r 、 τ_t 、光束视场角、视场倾角、视野角等参数,影响发射及接收视场的形状和范围。接收系统模块决定最小可探测功率,采集目标反射的激光回波信号,并进行光电转换^[3]。

该激光探测系统的仿真主要包括建模、仿真程序实现、仿真数据统计分析、模型校验4个部分。建模的基本过程包括逻

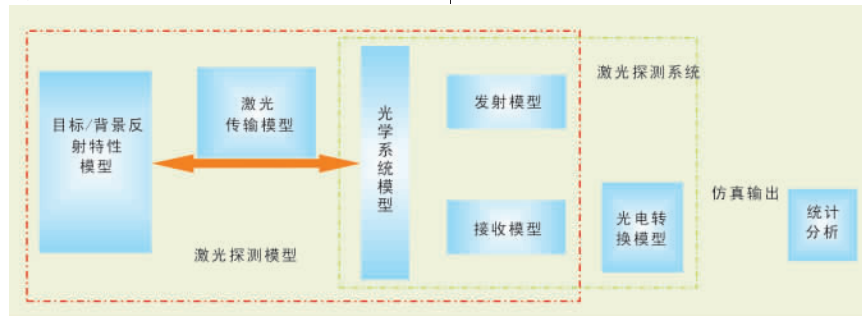


图1 激光探测系统仿真逻辑模型示意图

Fig. 1 Logic simulation model of laser detecting system

收稿日期: 2006-10-20

基金项目: 国家部委预研项目(40207010304)

作者简介: 赵桂芬,女,北京市中关村南大街5号北京理工大学机电工程学院,博士生,研究方向为激光近距探测及系统仿真;

E-mail: zhaogui fen@bit.edu.cn

邓甲昊(通讯作者),男,北京市中关村南大街5号北京理工大学机电工程学院,教授,主要研究方向为中近程目标探测与信号处理及感知与自适应控制;E-mail: bitdjh@sohu.com

辑建模、数学建模、计算机建模等。首先要明确测距系统各部分功能,建立工作逻辑框图,确定基本子模块的组成及其相互关系,本文依据激光近炸引信目标探测系统所建立的仿真逻辑模型如图1所示。

2.2 激光回波功率模型与光电转换模型

目标的激光反射特性有镜面反射、漫反射及介于两者之间的反射。实际目标往往不是理想漫反射面,但大部分目标表面足够粗糙,偏离漫反射的程度不大,在工程应用所允许的误差范围内,通常利用目标对光束的漫反射特性进行激光引信建模仿真^[4]。分析过程中假定发射脉冲参数均为已知,目标能均匀地进行漫反射,并采取适当措施使光束能量在截面积上近似均匀分布^[5-9],则激光探测器接收到的回波功率为:

$$P_r = \frac{\rho P_t A_r \tau_r \tau_t \tau_u^2 S}{\pi R^2 S_L} \cos \theta_{\text{norm}} \quad (1)$$

式中 ρ 是目标反射率; P_t 为发射功率; A_r 是接收机有效接收孔径面积; τ_r 是接收光学系统透过率; τ_t 是发射光学系统透过率; τ_u 是单向传播路径透过率; R 是作用距离; S 是被照射且在接收机视场内的目标面积; S_L 是激光束在目标处的光束截面积; θ_{norm} 是目标表面法线与接收系统光轴间的夹角。

如果激光束完全照射在目标上,则 $S \cos \theta_{\text{norm}} = S_L$, 得到:

$$P_r = \frac{\rho P_t A_r \tau_r \tau_t \tau_u^2}{\pi R^2} \quad (2)$$

若激光束有一部分射到目标之外,即 $S \cos \theta_{\text{norm}} < S_L$ 。

对于锥形激光束 $S_L = \frac{\pi \theta_1^2 R^2}{4}$, 则有:

$$P_r = 4P_t \frac{A_r S}{\pi^2 R^4 \theta_1^2} \tau_r \tau_t \tau_u^2 \cos \theta_{\text{norm}} \quad (3)$$

对于扇形激光束 $S_L = \theta_1 \theta_2 R^2$, 则有:

$$P_r = P_t \frac{A_r S}{\pi R^4 \theta_1 \theta_2} \tau_r \tau_t \tau_u^2 \cos \theta_{\text{norm}} \quad (4)$$

式中 θ_1, θ_2 是发射光束纵向及横向平面发散角。

根据以上推导可以对激光大视场探测和小视场探测两种不同情况进行有针对性的仿真,小视场探测时采用公式(2),大视场探测根据锥形和扇形两种光学视场形状的不同,分别运用公式(3)、(4)进行仿真计算,减少参量数目和仿真运算量。

光探测器输出的电信号幅度正比于探测器接收到的光功率,经光电转换后可以得到输出电压 V_r :

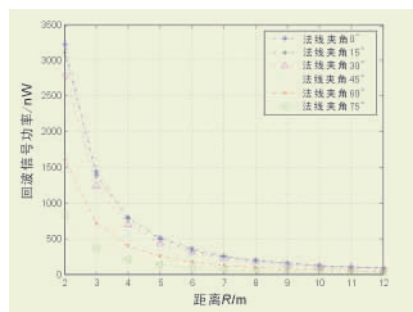
$$V_r = P_r \cdot R_v \quad (5)$$

式中 P_r 为接收到的反射光能量; R_v 为电压响应率。

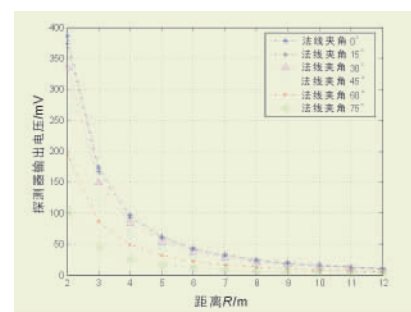
2.3 激光目标回波信号仿真分析及验证

由探测方程(3)可知,激光回波功率的大小与 $\rho, P_t, A_r, \tau_r, \tau_t, \tau_u, S, \cos \theta_{\text{norm}}$ 成正比,

与 R^2, S_L 成反比。为指导探测系统设计,首先需要分析探测模型中各参量变化对探测器可接收回波信号的影响,从而推断探测信号重要影响因子,以此为依据进行探测系统最优化参数设置。本文按照探测系统的技术指标要求和初步设计的电路工作参数,在特定仿真条件下进行仿真,观察仿真回波功率和探测电压信号的变化规律及变化幅度,分析探测系统各参变量的相互影响。首先考虑光束轴线与被探测平面法线夹角对回波功率和探测电压的影响。当光束轴线与被探测平面法线夹角在 $0^\circ \sim 75^\circ$ 之间均匀增加时,其回波功率和探测电压仿真曲线如图2所示。



(a) 回波功率仿真曲线($\rho=0.28$)
(a) Simulation curve of echo power($\rho=0.28$)

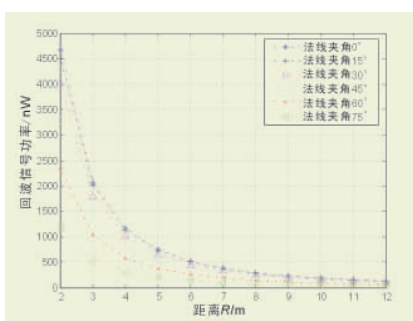


(b) 探测电压仿真曲线($\rho=0.28$)
(b) Simulation curve of detected voltage($\rho=0.28$)

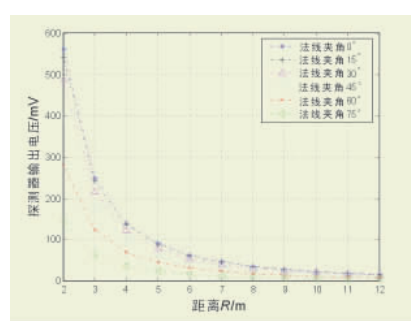
图2 回波功率和探测仿真曲线图($\rho=0.28$)

Fig. 2 Simulation curve of echo power and detected voltage($\rho=0.28$)

同样条件下,改变目标反射率,同时考虑光束轴线与被探测平面法线夹角在 $0^\circ \sim 75^\circ$ 之间均匀增加,得到的回波功率和探测电压仿真曲线如图3所示。



(a) 回波功率仿真曲线($\rho=0.5$)
(a) Simulation curve of echo power($\rho=0.5$)



(b) 探测电压仿真曲线($\rho=0.5$)
(b) Simulation curve of detected voltage($\rho=0.5$)

图3 回波功率和探测仿真曲线图($\rho=0.5$)

Fig. 3 Simulation curve of echo power and detected voltage($\rho=0.5$)

由图2、图3可知,随着探测距离的增加,回波功率和探测电压幅度呈下降趋势,距离越近,幅度下降越迅速;在一定距离(10 m)以外,回波功率和电压值都很低,降幅不

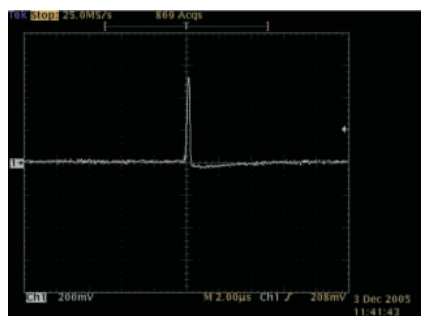
明显。因此,当探测器探测较远距离目标时,应注意激光器发射功率、探测器灵敏度、信号处理电路微弱信号检测部分的参数设计。同时,随着光束轴线与被探测平面法线夹角的增加,回波功率和探测电压幅度逐渐降低,并且夹角越大,幅度变化越显著。在探测系统设计时,应根据探测光束轴线与目标表面法线的可能交会角度,设置恰当的探测、接收视场倾角。

本文仿真针对的激光引信探测系统的试验波形及探测功率统计曲线如图4所示,与图2、图3比较可知,该激光探测系统的仿真探测功率和实际探测信号基本符合,其变化规律基本一致。

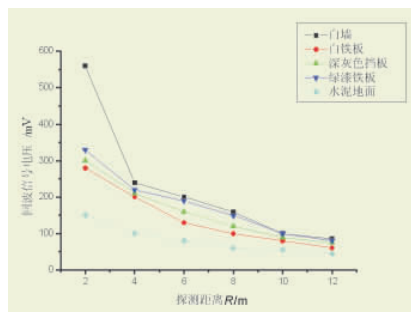
3 针对特定目标模型的激光回波信号分析

该激光探测系统仿真开始前须明确目标和探测器的初始位置,以及探测过程中

的相对方位,因此需要建立相对方位模型。在初步分析、建模阶段,通常在求解精度允许范围内对探测器、目标相对运动方程进行简化求解。假设探测器和目标只在铅垂

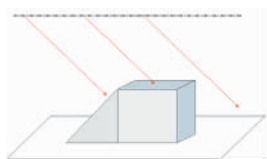


(a) 实际探测波形
(a) Actual detected waveform

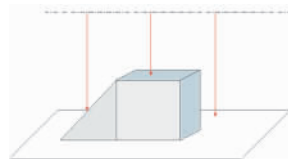


(b) 实际探测回波信号曲线
(b) Actual signal curve of detected echo

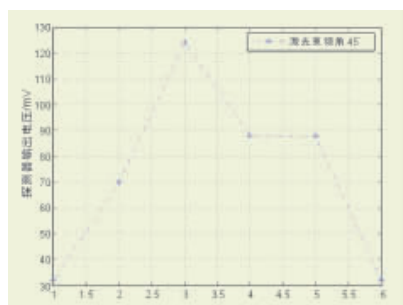
图 4 实际探测波形和实际探测回波信号曲线图
Fig. 4 Practical detected waveform and practical signal curve of detected echo



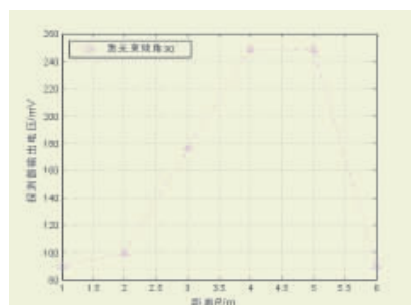
(a) 探测示意图 (倾角 45°)
(a) Detecting sketch (obliquity: 45°)



(b) 探测示意图 (倾角 90°)
(b) Detecting sketch (obliquity: 90°)



(c) 探测电压仿真曲线 (倾角 45°)
(c) Simulation curve of detected voltage (obliquity: 45°)



(d) 探测电压仿真曲线 (倾角 90°)
(d) Simulation curve of detected voltage (obliquity: 90°)

图 5 探测示意图和探测电压仿真曲线图

Fig. 5 Detecting sketch and the simulation curve of detected voltage

面内运动,无侧向运动,运动轨迹近似为铅锤面内的直线。假设探测器中心和目标中心在同一个铅锤面内,目标在水平基准面上静止不动,探测器在一定高度处作匀速水平直线运动掠过目标。将仿真目标的几何形状和尺寸简化,如图 5(a)所示。

当目标位于激光束的最大可探测范围内时,随距离的改变,激光回波信号幅度出现波动。根据探测器目标相对方位可以计算探测器与目标表面的距离和光束与目标表面法线的夹角,当激光探测系统采用小

视场进行探测时,利用前面所推导的公式(2)可计算激光回波功率,利用光电转换模型公式(5)即得到探测电压。如果改变激光束与水平面夹角,被照射目标表面的法线与激光束轴线夹角随之改变,探测过程中的回波功率和电压幅度也随之改变。通常在实际应用时,激光束与相对运动轨迹间的夹角根据探测要求进行设置。

针对激光束与水平面夹角呈 45°和 90°两种特殊情况进行回波信号仿真,其示意图和探测电压仿真曲线如图 5 所示。通过

图 5(c)和图 5(d)可以明显看出,当目标经过时激光束探测的距离发生变化,激光回波信号电压的幅度随之出现明显起伏,因此,采用该激光探测系统可以实现对目标的判断,并可以通过回波波形的差异对不同外形的目标进行区分。

4 结论

本文主要分析了一种近距离激光探测系统的回波模型和仿真参数变化对激光回波信号的影响,得到的探测电压仿真数据和曲线与实际探测试验数据及统计规律相吻合,证明仿真模型准确、有效。在此基础上利用所建立的回波信号模型针对特定探测条件和目标进行仿真试验,通过仿真分析可知,该激光探测系统可以通过回波信号波形的差异来区分具有不同外形的目标。

参考文献(References)

- [1] 薛国刚,孙东松,杨昭.直接探测激光雷达模型及其性能模拟[J].红外与激光工程.2003,32(3):244-247.
- [2] 冯龙龄.脉冲激光测距系统的仿真检测技术[J].红外与激光工程.2003,32(2):127-129.
- [3] DAN SPOREA, MIRCEA UDREA. Beam characterization of commercial red and infrared diode lasers. Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies [C]. Proceedings of SPIE. 2003, 5227:227-232.
- [4] 季云松,张凯.自然光照下目标的光学特征仿真[J].红外与激光工程.2002,31(2):161-165.
- [5] KARE J T, MITLITSKY F, WEISBERG A. Preliminary Demonstration of Power Beaming with Non-Coherent Laser Diode Arrays [R]. ADA362586, 1999.
- [6] STICKLEY C M, WEEKS A R. CREOL Support to ISTE IV -Coherent Laser Radar[R]. ADA319225, 1996.
- [7] HUANG JIANGUO, HAN JIANWE. The mechanism for SEU simulation by pulsed laser [J]. Science in China Ser. G Physics, Mechanics & Astronomy, 2004,47 (5):540-549.
- [8] SHEFFER A D J, CATHCART J M, HAHN S R, et al. Incorporation of measured natural reflectivities in a background clutter simulation. Targets and Backgrounds X: Characterization and Representation [C]. Proceedings of SPIE. 2004, 5431:260-269.
- [9] GRASSO R J, ODHNER J E, RUSSO L E, et al. A model and simulation to predict the performance of angle-angle-range 3D flash LADAR imaging sensor systems. electro-optical remote sensing [C]. Proceedings of SPIE, 2005, 5988: 598807.

(责任编辑 胡春华)