

·测试、试验与仿真·

## 激光对成像系统作用效果仿真

贾成功,唐树威

(光电信息控制和安全技术重点实验室 天津 300308)

**摘要** 鉴于激光对成像系统图像作用效果实验研究的局限性,首次提出了利用全数字仿真技术模拟激光作用成像系统效应的仿真方法。首先从激光对探测器作用、激光大气传输和激光作用效果图像叠加三个方面对激光与成像系统作用的效应进行了分析和研究。在此基础上进行了激光作用效果的仿真设计,完成了基于RTI总线的仿真系统的搭建及应用,并给出了几组不同条件下的连续动态仿真效果图片,最后提出该仿真系统的应用价值及今后的发展方向。

**关键词** 激光;成像系统;图像叠加;激光功率密度;大气传输;大气透射率

中图分类号:TN245

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2018)-02-0036-05

## Laser Imaging Effect Simulation on Imaging System

JIA Cheng-gong, TANG Shu-wei

(Science and Technology on Electro-Optical Information Security Control Laboratory, Tianjin 300308, China)

**Abstract:** Based on the limitation of the laser imaging effect on an imaging system, a simulation method using full digital simulation technology is presented for the first time. At first, the laser imaging effect on the imaging system is analyzed and researched from three aspects such as laser effect on a detector, laser atmosphere transmission and laser effect image overlapping, and based on which, the simulation design of the laser effect is performed. The simulation of the effect is designed and a simulation system based on RTI bus is developed. And continuous dynamic simulation effect images are given under different conditions. At last, the application and the development of the simulation system are put forward.

**Key words:** laser; imaging system; image overlap; laser power density; atmospheric transmission; atmospheric transmissivity

随着光电技术的快速发展,成像系统在光电侦察、光电跟踪及光电制导等领域得到了广泛的应用。鉴于此,对成像系统的对抗技术研究受到各国的普遍重视,其中,激光对抗技术成为发展的主流,激光对成像系统作用效应的研究显得尤为重要。

激光对成像系统图像影响效果研究最为直接的手段是实物试验。这种方法能够最直观地获得成像系统在激光作用前后图像质量的变化情况,可信度较高。但同时缺点也十分明显,实验的环境及条件要求高,对成像系统造成的某些毁伤是不可逆的,实验成本代价过高。近10年来,随着计算机软

硬件的跨越式发展,计算机仿真技术以其成本低、应用灵活等特点在科研领域得到广泛的应用,这为激光对成像系统作用效应的仿真研究提供了必要的技术基础。

仿真研究,主要涉及的内容包括:激光器参数(激光光源体制、激光波长等)、成像系统参数(探测器体制、探测器类型等)、激光在大气传输中的衰减、激光对成像系统作用图像模拟和效果图像合成等。这些研究的内容中,激光对成像系统图像模拟和作用图像合成是较为关键的技术问题。

作用图像的仿真模拟:一是通过仿真模拟生成

作用效果图像;二是使用试验中采集的效果图像。在进行验证实验时,主要采用以第二种方式中的效果图像为模板进行叠加,在试验样本不足时,可采用第一种方式的模拟图像作为补充。选择这样的做法是为了更加接近真实。

激光作用图像中的信息主要包括原始信息和激光作用图像信息。激光对成像系统作用效果(图像)可以认为是将原始信息和激光作用图像信息合成的结果。为此,可以采取图像叠加的方法来实现激光对成像系统作用效果的仿真。

## 1 激光对成像系统作用效果关系分析及实现所采用的方法

通过仿真来模拟激光对成像系统的作用效果,需搞清楚两个方面的关系:一是激光功率(能量)密度与作用效果图像中光斑灰度(亮度)和光斑面积之间的关系;二是激光入射角度与作用效果图像中激光光斑中心位置的关系。同时,要考虑大气传输对激光的影响及效果图像的叠加问题。

### 1.1 激光功率(能量)密度与作用效果图像中光斑灰度(亮度)、光斑面积之间的关系

激光对成像系统作用图像中,激光光斑半径的关系表达式如下

$$r = \left( C \cdot \frac{f^2 t G}{f^\#} \cdot \bar{E} \lambda^2 \eta(\lambda) \right)^{1/3} \quad (1)$$

式中,  $C$  部分是与激光器和成像系统参数无关的常量。  $\frac{f^2 t G}{f^\#}$  部分与成像系统的参数相关,在仿真过程中不能被改变。  $\bar{E} \lambda^2 \eta(\lambda)$  部分是与激光器相关的参数。

根据式(1)进行计算,可得到成像系统输出图像中激光光斑半径  $r$ , 可以通过半径  $r$  来模拟绘制激光的作用效果图像。

在对激光作用效果图像进行仿真试验研究时,为了将仿真效果做到更加的真实,采用了参考激光作用试验图像的方法。具体做法如下:

首先,建立激光作用效果图像模板资料库,每一个图像模板对应于特定激光波长与功率密度(能量密度)。

其次,建立检索关系,利用激光波长与能量密度的组合来对应作用图像资料库中某一作用效果图像模板。

在激光作用效果图像模板资料库中,激光的作用效果图像模板毕竟是有限的。因此,在仿真过程中,对于介于两个激光功率密度之间的作用图像,对作用效果图像采用图像缩放的方法来实现,对亮度变化采用线性插值的方法。

对于图像缩放,具体做法如下

$$A = \left( \frac{I_1 e^{-u}}{I e^{-u_1}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot A_1 \quad (2)$$

图像亮度变化线性插值方法,具体做法如下

$$\begin{cases} \Delta I = I_{\varphi_2} - I_{\varphi_1} \\ \Delta \varphi = \varphi - \varphi_1 \\ I_{\varphi} = I_{\varphi_1} + \frac{\Delta \varphi}{\varphi_2 - \varphi_1} \cdot \Delta I \end{cases} \quad (3)$$

这样,可以通过上式的计算,对  $A_1$  的模板图像进行比例缩放,作为激光作用的效果图像,并且可对缩放后的效果图像进行相关亮度的线性插值。

### 1.2 激光入射角度与作用效果图像中激光光斑中心位置的关系

对于作用效果图像中,如何计算激光光斑中心位置,采用如下式

$$\begin{cases} m = \frac{\text{tg}(\Delta\alpha)}{\text{tg}(\alpha)} \times \frac{A}{2} + \frac{A}{2} \\ n = \frac{\text{tg}(\Delta\beta)}{\text{tg}(\beta)} \times \frac{B}{2} + \frac{B}{2} \end{cases} \quad (4)$$

通过式(4)的计算,以原始图像中的  $(m, n)$  点为中心,将激光作用图像与原始图像进行叠加形成激光作用效果的图像。

### 1.3 激光在大气中传输的影响

激光在大气传输过程中,受到多种因素的影响,包括激光波长、激光传输方向、激光传输距离、工作环境和季节等。在不同条件下,大气环境对激光传输造成的损耗是不同的,因此,必须充分考虑影响大气衰减问题(即:激光大气透过率)的各种条件参数。

为了保证仿真试验的实时性能,利用大气传输计算软件 Lowtran,对于不同条件参数下的激光大气

透过率进行了计算,并列出表格。在仿真的应用中,采用 excel 表格查询方式获取大气透过率  $\tau(\lambda, l, \alpha)$ 。

函数中,  $\lambda$  为激光波长;  $l$  为激光到达成像系统的距离;  $\alpha$  为激光传输角度。

激光经过大气传输到达成像系统前功率密度计算关系表达式如下

$$E_p = \frac{P \times \tau(\lambda, l, \alpha)}{\pi \times \left(\theta \times \frac{l}{2}\right)^2} \quad (5)$$

式中,  $E_p$  为到达成像系统前的功率密度;  $P$  为激光器的输出功率(对于脉冲激光器采用平均功率);  $\lambda$  为激光波长;  $l$  为激光到达成像系统的距离;  $\alpha$  为激光传输角度;  $\tau$  为激光到达成像系统的大气透过率;  $\theta$  为激光束散角。

通过式(5)进行计算,就可以获得激光到达成像系统光学镜头前的功率密度。

#### 1.4 激光作用效果图像的叠加

由于成像系统所成的图像是热像,热量分部越高的地方,图像越亮。因此,在原始图像和激光作用效果图像叠加过程中,应该秉持一个原则,即能量叠加,表现在灰度图像上则为亮度的叠加。

假设,激光作用效果图像模板为  $f_m(i, j)$ , 原始图像为  $f(i, j)$ , 激光作用效果叠加图像为  $f'(i, j)$ ; 其中,  $i = 1, \dots, M$ ;  $j = 1, \dots, N$ 。  $\bar{f}_m$  是激光作用效果模板图像灰度均值。

则,使用如下方法实施图像叠加

$$f'(i, j) = \begin{cases} f(i, j) + f_m(i, j) & f_m(i, j) + f(i, j) < 255 \\ 255 & f_m(i, j) + f(i, j) \geq 255 \end{cases} \quad (6)$$

通过式(6)进行叠加后,就获取对应的激光作用效果图像。

## 2 激光对成像系统作用效果仿真系统设计

### 2.1 系统组成

激光对成像系统作用效果仿真系统主要由系统参数初始化模块、动态参数设置模块、系统推进模块和激光作用效应输出模块四部分组成,系统组成见图1。

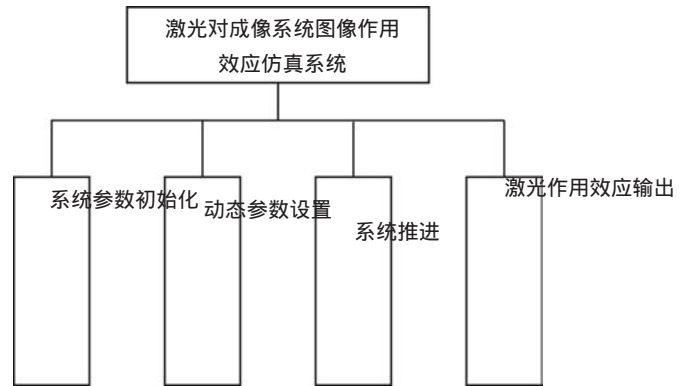


图1 激光对成像系统作用效果仿真系统组成图

**系统参数初始化模块功能:**主要完成激光器参数设置和成像系统参数设置。根据激光器波长载入对应的大气透过率数据信息,根据激光参数和成像系统参数载入对应的激光作用效应图片模板数据的功能。其中,激光器参数包括激光波长、激光体制(连续/脉冲)、激光器功率(连续有效)、激光脉冲能量(脉冲有效)、激光脉冲宽度(脉冲有效)、激光重频(脉冲有效)、激光束散角和激光器初始位置信息。成像系统参数包括成像系统分辨率(瞬时视场)、成像系统探测器积分时间、成像系统视场大小、成像系统成像焦平面像元尺寸、成像光学系统焦距、成像系统  $F$  数和成像系统电路放大增益系数。

**动态参数设置模块功能:**主要实现成像系统图像信息、成像系统搭载平台位置信息设置、成像系统光轴姿态信息设置、激光器位置信息设置的功能。

**系统推进模块功能:**主要实现大气对激光的衰减计算、激光到达成像系统前功率(能量)密度计算、成像系统产生激光作用图像中心位置计算、成像系统产生激光作用图像半径计算、激光作用效果图像模拟和激光作用效应图像叠加的功能。

**激光作用效应输出模块:**主要实现激光作用效应模拟图像的输出。

系统推进模块是整个激光作用效应模拟系统的核心,是以系统初始化参数和动态设置参数为前提。

### 2.2 系统流程

激光对成像系统作用效果仿真系统流程示意图见图2。

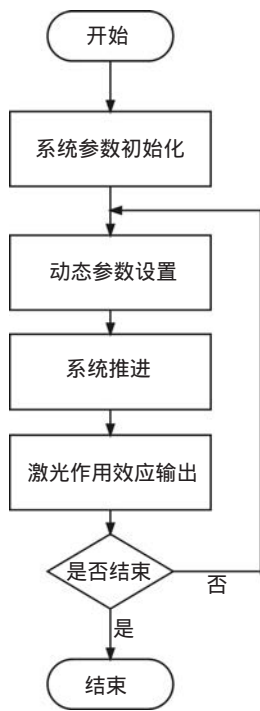


图2 激光对成像系统作用效果仿真系统流程示意图

### 2.3 仿真效果

在搭建的仿真平台上,进行了激光对成像系统作用效果仿真的验证实验,得到的仿真效果较为真实可信。

仿真场景采用空空背景,模拟中波激光器对红外成像系统的作用效果。动态过程为红外成像系统从远距离开始逐渐逼近观测目标。仿真效果见图3~图5。



图3 没有实施激光作用效果仿真的一组动态图

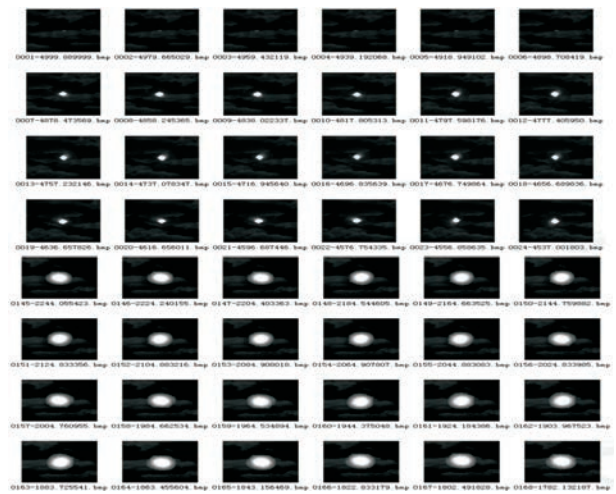


图4 采用低功率激光作用效果仿真的一组动态图

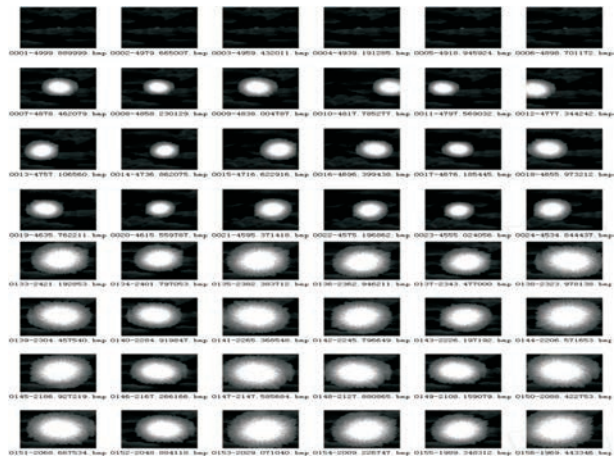


图5 采用高激光作用效果仿真的一组动态图

图6为激光作用效果对红外成像系统跟踪影响分析图。

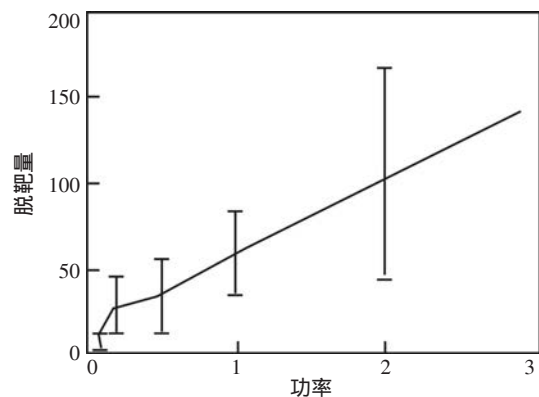


图6 激光作用效果对红外成像系统跟踪影响分析图

从图6中,可以清晰看出激光作用后,红外成像跟踪系统的脱靶量有较大的跳变。

### 3 结论

激光对成像系统作用效果仿真在实现激光作用效应模拟时,采用的两种手段(采用试验取得的激光作用的效果图片进行图像叠加和采用数学模型自动产生)即可大大提高模拟产生的激光作用效应的可信度又可提高模拟效果的逼真度。本仿真系统的优点在于:首次采用了全数字仿真技术手段实现成像系统图像的激光作用效应模拟;该仿真系统成本低、应用灵活、便于其他光电对抗仿真系统的嵌入;可有效的应用于新型装备项目的论证、研发和现有装备的效能评估等专用领域。在随后的研究中,将数字仿真与半实物相结合应该对提高激光作用效果逼真度方面有着很大的提升。

#### 参考文献

[1] 官上红,司汉英.强激光作用下CCD串扰特征研究[J].

光电技术应用,2017,3:6-10.

- [2] 邵立,吴云龙,汪亚夫,等.光电成像系统激光干扰效果定量评估研究综述[J].激光与红外,2016,10(10):1183-1188.
- [3] 张震,江天,程湘爱,等.CCD强光串扰效应的串扰线缺口现象及其机制[J].强激光与粒子束,2010,22(7):1505-1509.
- [4] 车进喜,许晓军,张恒伟,等.红外成像系统中激光耀斑成因机理[J].红外与激光工程,2011,40(8):1537-1541.
- [5] 元凤杰.激光干扰行间转移CCD串扰现象研究[J].半导体光电,2014,35(1):23-25.
- [6] 杨希伟,董忠诚,汪亚夫,等.激光干扰光电成像导引头的建模与仿真[J].红外与激光工程,2011,40(7):1243-1248.
- [7] 范晋祥,李亮,李文军.定向红外对抗系统与技术的发展[J].红外与激光工程,2015,44(3):789-794.
- [8] 初学莲,姜冶,蔡猛,等.激光对长波红外探测设备的干扰效应研究[J].光电与控制,2016,3(3):32-35.
- [9] 元凤杰,李华,王敏,等.激光干扰红外焦平面器件的干扰图像仿真[J].半导体光电,2015,4(2):213-215.
- [10] 张群慧,许明圣,郑茂.高能激光对成像制导系统的干扰效果分析[J].激光杂志,2013,34(6):66-67.

#### (上接第3页)

叶变换技术,实现对激光驾束制导信息场的检测。通过构建实验装置,采集激光驾束制导调制信号,并利用短时傅里叶变换进行分析,有效的获取了激光驾束制导信号的时频分布及测量点的位置偏差信息,表明了该技术在激光驾束制导信息场检测中的有效性。

#### 参考文献

- [1] 王狂飙.激光制导武器的现状、关键技术与发展[J].红外与激光工程,2007,36(5):651-655.
- [2] 熊旭,杜恩祥,张金忠,等.激光驾束制导信息场检测系统设计[J].装甲兵工程学院学报,2009,23(6):49-52.
- [3] 杜恩祥,常雷,李文珍,等.基于阵列法检测的激光驾束制导信息场特征提取技术[J].装甲兵工程学院学报,2011,25(4):58-60.
- [4] 周军,卢晓东,周凤岐.基于低成本红外成像/激光驾束

的复合制导技术[J].航空兵器,2005,5:10-13.

- [5] 马利国,伍波,周鼎富,等.10.6 μm激光驾束制导仪编码调制器的设计[J].红外与激光工程,2010,39(1):71-75.
- [6] 李娜,王红.激光驾束制导仪中调制盘的设计[J].中国光学,2011,4(4):423-428.
- [7] 王会峰,张文革,王金娜.激光驾束制导仪光信息场模拟测试技术[J].激光与红外,2011,41(9):974-978.
- [8] 李云霞,刘敬海,赵尚弘.激光驾束制导光场信息的模拟技术[J].光子学报,2003,32(4):395-397.
- [9] 王忠,周力.MATLAB环境下的跳频信号分析与仿真[J].计算机仿真,2003,20(11):131-134.
- [10] 张玉恒,吴启晖,王金龙.基于时频加窗短时傅里叶变换的LFM干扰抑制[J].电子与信息学报,2007,29(6):1361-1364.
- [11] 刘文彬,郭瑜,郑文华.基于短时傅里叶变换的油膜振荡故障识别[J].中国测试,2008,34(2):105-107.