

·测试、试验与仿真·

基于DMD调制成像系统建模分析

刘严严, 许宏

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 天津 300308)

摘要:通过对基于DMD后调制的激光主动成像光学系统分析,建立了成像系统的数学模型,并通过仿真分析了成像系统的各个影响因素,最后给出了仿真的结果。仿真结果表明,激光源的强度、接收光学系统的口径对成像系统的探测距离具有较大的影响。

关键词:数字微镜阵列;调制成像;建模;仿真

中图分类号:TN244

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2018)-01-0046-04

Imaging System Simulation Analysis Based on Digital Micromirror Device

LIU Yan-yan, XU Hong

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

Abstract: The laser active imaging system based on digital micromirror device (DMD) post modulation is analyzed and the mathematical model is set up. The influence factors are analyzed by simulation, and the simulation results are given. The results show that the laser intensity and the aperture of the receiving optical system have great influence on the system detection distance.

Key words: DMD (digital micromirror device); modulation imaging; modeling; simulation

激光成像探测是通过激光束对目标进行照射,目标的反射回波经光电成像探测器接收,通过信号处理获取目标的反射强度信息、目标至探测器的距离和速度信息,进而获得区别于背景的目标强度图像、距离图像或多普勒(速度)图像^[1]。

激光成像探测具有较高的距离、角度和速度分辨率,突破了传统的成像概念,能同时获得目标的强度像、距离像等多种图像,图像信息量丰富,具有目标区分能力突出的优点,此外还具有抗电磁干扰和抗隐身能力强的特点,被公认为目前最具潜力的复杂背景下的目标探测模式,很适于激光成像雷达、制导及引信等武器系统的应用。近年来,国外军事强国如美、英、法和瑞典等国,非常重视激光成像探测技术的研究,已研制出多种激光成像探测系统原理样机,许多已装备部队。

成像激光雷达的分类方式有很多,如按照扫描方式可以分为扫描和非扫描成像雷达,激光扫描成像雷达系统的工作原理基于激光束对目标场景进行扫描,接收场景反射的激光辐射,产生连续的模拟信号,还原成实时目标场景的图像。非扫描成像雷达系统是20世纪90年代出现的新型成像雷达,因没有机械扫描装置,可克服传统的扫描激光雷达帧率低、视场小、体积大等问题,具有高帧率、宽视场、体积小的特点,在军事和商业上有着广泛地应用前景。非扫描激光雷达系统的工作原理大致可分为三类:(1)面阵相位法,即利用已有的单元技术和器件,研发成本较低,但需多次测量;(2)面阵测时法,即只需一次探测即可得到距离图像,从而达到很高的帧率;(3)面阵旋光法,即进行一次探测也可测得距离,但是因电光调制晶体要求高压调

收稿日期:2018-01-22

基金项目:本文受6140415030116DZ63001和基金项目SKL2017KF06的研究支持

作者简介:刘严严(1980-),女,硕士,主要研究方向为光电信息处理。

制,且需要两组光学系统精确匹配,系统稳定性欠佳。

文中提出的基于DMD调制的激光主动成像系统,采用单元探测器进行接收,无需扫描,有望解决目前对于非扫描成像系统对于大面阵探测器件的需求。

1 成像系统建模

激光照射远场目标,并以漫反射的形式将辐射沿接近相同的路径传播至接收装置中。接收装置包括成像光学系统、DMD器件和桶功率计。总体布局如图1所示。

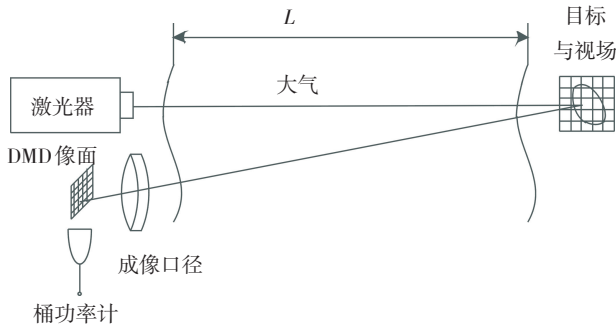


图1 激光对目标的照射-接收装置布局

激光在目标处形成的照度为

$$H_t = \frac{P\tau_{o1}\tau_a}{(\alpha L)^2} \quad (1)$$

式中, H_t 为激光在目标处形成的照度; P 为激光输出功率; τ_{o1} 为激光发射系统透过率; τ_a 为大气透过率; α 为激光发射系统半角扩束角; L 为发射系统与目标距离。

对于探测系统,可以将目标视为一个二维的反射率分布图像,设为 ρ_i, ρ_r 的每个像元对应DMD器件的像元,其大小由接收系统的DMD器件和光学系统决定,有下式

$$A_b = A_d \left(\frac{L}{f} \right)^2 \quad (2)$$

式中, A_b 为目标的像元面积; A_d 为DMD器件的像元面积; f 为接收光学系统焦距。

设目标对激光的反射为漫反射,而目标一个像元反射的激光落在接收系统处的照度为

$$H_r = \frac{H_t \rho_i A_b \tau_a}{\pi L^2} \quad (3)$$

式中, H_r 为目标漫反射激光在接收装置表面形成的

照度; ρ_i 为目标的反射率二维灰度图像。

因此,照射在一个DMD器件像元上的功率为

$$P_d = \frac{\pi}{4} D^2 \tau_{o2} H_r \quad (4)$$

式中, P_d 为一个DMD器件像元上接收的激光功率; D 为激光光学系统口径; τ_{o2} 为接收光学系统透过率。

将一个二值图像 ρ_{DMD} 写入DMD器件控制像元的偏转,器件上一些像元的入射光被反射到桶功率计中,则总的桶中功率为

$$P_b = \sum P_d \rho_{DMD} a \quad (5)$$

式中, P_b 为桶功率计得到的功率值; ρ_{DMD} 为控制DMD偏转的二值图像; a 为DMD像元反射率。

而桶功率计的输出值为

$$V_b = P_b a \quad (6)$$

式中, V_b 为桶功率计输出电压值; a 为桶功率计灵敏度。

桶功率计的输出信噪比为

$$\frac{V_s}{V_N} = \frac{P_b D}{\sqrt{A_b \Delta f}} \quad (7)$$

$$D^* = \frac{\sqrt{A_b}}{NEP}$$

式中, $\frac{V_s}{V_N}$ 为输出信噪比; A_b 为桶功率计面积; D^* 为桶功率计归一化探测率; Δf 为桶功率计带宽,即读取电路采样频率的一半。

2 成像系统仿真结果

实际探测中,桶功率计的输出信噪比应在10以上,才能保证读数的误差可以被忽略。如果考虑到上述透过率、反射率等参数的估算误差,信噪比应放宽到几十或一百倍。

根据以上建立的系统模型,对成像系统进行了仿真。


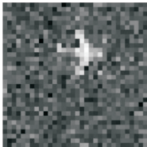
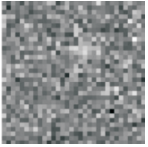
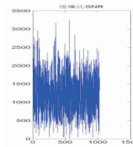

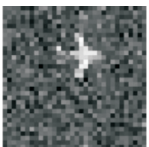
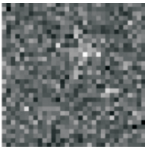
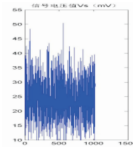
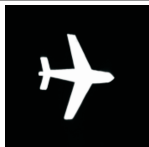
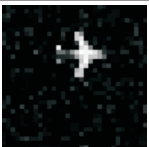
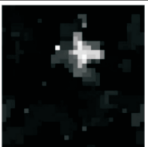
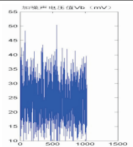
2.1 重建算法和目标采样率对成像质量的影响

仿真的条件设定为:(1)激光波长:1 064 nm;(2)探测距离:5 km;(3)激光峰值功率:160 000 W;(4)接收系统口径:200 mm,焦距2.4 m;(5)测量矩阵稀疏度10%;(6)大气衰减:0.49;(7)目标重建算法:关联算法、伪逆算法、压缩感知算法;(8)目标采样率分别为10%和80%;(9)探测目标、探测器、探

测系统带宽以及光场调制器件和成像的分辨率均在相同的条件下。

表1所示为仿真结果比较在相同的探测条件下,不同重建算法和目标采样率对成像的影响。

表1 不同重建算法和采样率下成像结果

重建算法	原始目标	采样率0.8	采样率0.1	信噪比
关联算法				
伪逆算法				
压缩感知算法				


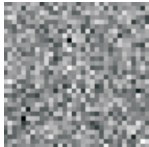
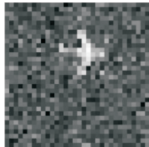
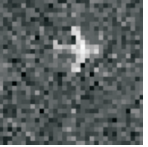

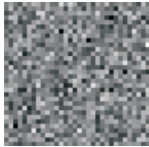
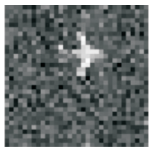





2.2 激光能量对成像质量的影响

仿真的条件设定为:(1)激光波长:1 064 nm;(2)探测距离:5 km;(3)接收系统口径:200 mm,焦距2.4 m;(4)测量矩阵稀疏度10%;(5)大气衰减:0.49;(6)激光峰值功率分别为16 000 W、160 000 W、

16 000 000 W;(7)目标采样率均为80%;(8)探测目标、探测器、探测系统带宽以及光场调制器件和成像的分辨率均在相同的条件下。

表2所示为仿真结果比较在相同的探测条件下,激光峰值功率对成像的影响。

表2 不同激光发射功率下成像结果

重建算法	原始目标	16 000 W	160 000 W	16 000 000 W
关联算法				
伪逆算法				
压缩感知算法				

3 结论

对基于DMD后调制的激光主动成像系统的系统结构进行了建模分析,并通过仿真分析了影响成像质量的因素。仿真结果表明,影响成像系统的探测距离和成像质量的主要参数为单脉冲激光能量、

激光发射角、大气衰减因子、接收光学系统口径、视场、探测器系统带宽、探测器灵敏度、调制矩阵类型、调制矩阵稀疏度、数据采样率、目标重建算法以及目标反射率等。因此,在实际应用中,要根据具体的应用场景合理的设计相关参数,以满足不同场合的应用需求。

参考文献

- [1] 王春晖,王骐,尚铁梁.长波红外激光成像雷达技术的研究进展[J].激光与红外,2001,31(3):133-135.
- [2] 韩绍坤.激光成像雷达技术及发展趋势[J].光学技术,2006,32(增刊):494-496.
- [3] Pittman T, Shih Y, Strekalov D, et al. Optical imaging by means of two-photon entanglement[J]. Phys Rev A, 1995, 52: 3429.
- [4] Strekalov D V, Sergienko A V, Klyshko D N, et al. Observation of two-photon 'Ghost' interference and diffraction [J]. Phys Rev Lett, 1995, 74: 3600.
- [5] Valencia A, Scarcelli G, D'Angelo M, et al. Two-photon imaging with thermal light[J]. Phys Rev Lett, 2005, 94: 063601.
- [6] Scarcelli G, Berardi V, Shih Y H. Can two-photon correlation of chaotic light be considered as correlation of intensity fluctuation[J]. Phys Rev Lett, 2006, 96: 063602.
- [7] Meyers R, Deacon K S, Shih Y H. Ghost imaging experiment by measuring reflected photons[J]. Phys Rev A, 2008, 77: 041801.
- [8] Meyers R, Deacon K S, Shih Y H. Turbulence-free ghost imaging[J]. Apl, 2011, 98.
- [9] 韩申生.强度关联遥感成像技术[J].航天返回与遥感,2011,32(5):44-52.
- [10] 李龙珍,姚旭日,刘雪峰,等.基于压缩感知超分辨鬼成像[J].物理学报,2014,63:22.
- [11] 范有臣,赵洪利,孙华燕,等.距离选通技术在运动目标激光主动成像中应用[J].激光与红外,2015,45(12):1427-1432.
- [12] 孙志慧,邓甲昊,闫小伟.线阵推扫式激光成像引信探测技术[J].光电工程,2009,36(3):16-21.
- [13] 周鑫,孙剑峰,姜鹏,等.日光对532 nm激光成像性能影响实验分析[J].红外与激光工程,2015,44(5):1432-1437.

(上接第23页)

- 展[J].激光与光电子学进展,2009,46(9).
- [2] 张生冬,王凤超,邹军.不同粒径YAG荧光粉对LED封装光源的影响研究[J].光电技术应用,2014,29(4):21-23.
- [3] Nakamura. InGaN multi-quantum-well-structure laser diodes with GaN-AlGaIn modulation-doped strained-layer superlattices[J]. IEEE J Sel Top Quant Electron, 1998, 4(3): 483-489.
- [4] Tsai C C, Hsu Y C, Huang S B, et al. Investigation of Ce:YAG doping effect on thermal aging for high-power phosphor-converted white-light-emitting diodes[J]. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, 2009, 9(3): 367-371.
- [5] 张延,刘升,许虹杰,等.LED用荧光玻璃的制备及性能研究[J].无机材料学报,2015,30(6):588-591.
- [6] Chen H, Lin H, Xu J, et al. Chromaticity-tunable phosphor-in-glass for long-lifetime high-power warm w-LEDs [J]. Journal of Materials Chemistry C, 2015, 3: 8080-8089.
- [7] Li H, Xu X J, Li Y, et al. Preparation and luminescent properties of the coating of phosphor in lead-free glass by multilayer screen-printing[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2016, 684: 372-378.
- [8] 贾宁,蒋水秀.基于LED的光谱可调光源结构研究[J].光学仪器,2012,34(5):70-74.
- [9] 蔡静.1W大功率蓝光LED和白光LED光电特性研究[J].科学技术与工程,2012,12(38):7165-7169.
- [10] 毕建峰,邹念育,高英明,等.交流LED与高压LED的特性实验研究[J].半导体光电,2013,34(6):975-978.