

可见光光学系统杂散光抑制

舒星星^{1,2} 刘卫林¹¹中国科学院光电技术研究所, 四川 成都 610209²中国科学院大学, 北京 100049

摘要 以光电跟踪测量系统可见光镜头为例,通过对镜头进行仿真分析,寻找杂散光斑形成原因,然后进行杂散光抑制设计,并与实际测试结果对比,验证软件分析方法的可靠性。对光学系统建立软件分析模型,确定一次散射路径,对 2° ~ 3° 内各离轴角分别进行杂散光分析,找出主要杂散光源。与实际光学系统测试结果对比,以确定分析的正确性。仿真分析结果表明:离轴角在 2.20° ~ 2.65° 之间,杂散光在像面中心形成明显杂散光斑,点源透过率(PST)为 2.92×10^{-4} 。最后通过修改结构,消除杂散光斑,PST降为 3.53×10^{-5} 。软件分析得到镜头的杂散光斑及其来源,与实际测试结果一致,验证了软件分析方法的正确性与准确性。

关键词 成像系统; 消除光斑; 杂散光分析; 点源透过率

中图分类号 TH74 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.121101

Suppression of Stray Light in Visible Light Optical System

Shu Xingxing^{1,2} Liu Weilin¹¹*Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China*²*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

Abstract Taking the photoelectric tracking and measuring system visible light camera lens as an example, through simulation analysis for the camera lens, the reason leading to the stray light spot is found. With the carrying out stray light suppression design, and comparing with the testing result of actual optical system, it's proved that the software analytical method is reliable. By building model for optical system, the scattering paths are ascertained. For each off-axis angle within 2° to 3° , stray light analysis is conducted respectively to identify the main stray light source. Comparing the result of analysis with the testing results of actual optical system, the analysis is proved to be correct. Then the structure of system is modified, and suppress stray light is suppressed. The simulation results show that when the off-axis angle is between 2.20° and 2.65° , stray light takes shape an obvious spot in the center of the image, and point source transmittance (PST) is 2.92×10^{-4} . By modifying the structure, the stray light spot is eliminated, and the PST is reduced to 3.53×10^{-5} . Stray light spot and its source, obtained through software analysis, are the same to the testing result, which proves the correctness and accuracy of the software analytical method.

Key words imaging systems; eliminate light spot; stray light analysis; point source transmittance

OCIS codes 110.3000; 110.4280; 220.4830; 220.4840

1 引言

杂散光是指光学系统中除了成像光线以外,扩散到探测器表面上的其他非成像光线以及通过非正常光路到达探测器的成像光线^[1-6]。杂散光主要来源有三种^[7]: 1) 视场外杂散辐射。视场外光线经光学系统内部多次折反射到达像面。2) 内部辐射。主要是内部发热部件的红外辐射。3) 成像光线的非正常传输。指光学表面对光线的折反射。对目标光谱是可见光的光学系统,视场外杂散辐射起主要作用。

光电跟踪测量系统是采用光学原理采集目标信息,经处理得到所需的目标特性参数,并获取实况图像

收稿日期: 2014-05-14; 收到修改稿日期: 2014-06-17; 网络出版日期: 2014-10-31

作者简介: 舒星星(1989—),男,硕士研究生,主要从事光电跟踪测量系统杂散光方面的研究。

E-mail: shuxingxing2009@163.com

导师简介: 刘卫林(1969—),男,硕士,副研究员,主要从事光电跟踪测量系统光机总体设计方面的研究。

E-mail: ioeliuweilin@163.com

资料的专用测量系统^[8]。光电跟踪测量技术以其高精度而广泛应用于跟踪测量领域。

对某一光电跟踪测量系统进行分析,该系统可见光镜头长焦时焦距长、 F 数较大、视场角小。同时,该系统采用高灵敏度 CMOS 探测器,对杂散光的影响非常敏感。特别是在白天天空背景光的影响下,由于杂散光能量增强,像面中心会出现一个明显的杂散光斑,同时像面对比度下降,严重干扰系统的跟踪与测量能力,杂散光光斑甚至会完全湮没目标信号,导致光电跟踪测量系统失效。因此,本文在该光电跟踪测量系统可见光变焦镜头中,分析了杂散光的来源,并进行了杂散光抑制设计。

2 杂散光分析模型及杂光水平评价方法

2.1 杂散光分析模型

在光学系统中,从探测器向前看,能够看到的表面被称为关键表面,从物空间向光学系统里看,能够看到的表面被称为被照射面。定义系统内既是关键表面又是被照射表面的表面为一次散射表面。在杂散光分析软件 TracePro 中建立光学系统的测试模型,图 1 为可见光光学系统结构图,其中透镜 18 压圈内壁为一次散射表面。

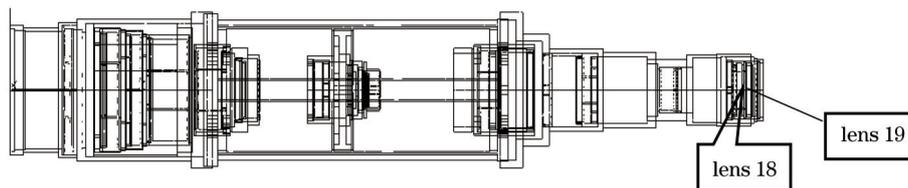


图 1 可见光镜头结构示意图

Fig.1 Structure of the visible light camera lens

2.2 杂光水平评价方法

光学系统轴外点光源的杂散光抑制能力通常用点源透过率(PST)来表示。PST 定义为光学系统视场外离轴角为 θ 的光源经过光学系统后在像面产生的辐照度 $E_d(\theta)$ 与入瞳处辐照度 $E_i(\theta)$ 的比值^[9-10],其数学表达式为

$$V_{\text{PST}}(\theta) = \frac{E_d(\theta)}{E_i(\theta)}. \quad (1)$$

在本文中,采用改进的点源透过率,将入瞳处辐照度用遮光罩入口处辐照度来代替,以此简化计算^[11]。

3 杂散光分析

在分析软件 TracePro 中,定义镜片材料,所有镜片通光表面的透过率均为 99%,散射率均为 1%。其他结构件表面吸收率为 80%,散射率为 20%,同时采用 ABg 散射模型。由于视场外的光线只要经过一次散射表面的一次散射就能够到达像面,因此在一次散射表面设置重点采样,重点采样目标设为像面经过后组部分透镜 18、透镜 19 所成的像。分析前,根据系统的实际情况合理设置阈值数值。

设置朗伯发光场型面光源,进行光线追迹,确定能够照射到一次散射表面的光源离轴角在 $2^\circ \sim 3^\circ$ 之间。由于高次散射到达像面能量太低,因此忽略去高次散射。在 $2^\circ \sim 3^\circ$ 之间每隔 0.05° 取一个角度设置格点光源进行光线追迹,最后得到只有离轴角在 $2.20^\circ \sim 2.65^\circ$ 之间的光线能够直接照射到一次散射表面,通过一次散射表面到达像面,如图 2 所示。

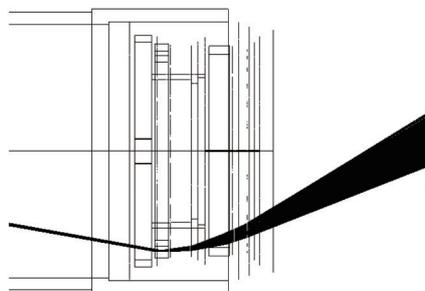


图 2 一次散射

Fig.2 Once scattering

2.20°~2.65°不同离轴角的光线均可在像面上得到相同的且能量相差不大的杂散光分布情况。以2.40°离轴角为例,它在像面上形成的杂散光分布如图3所示。

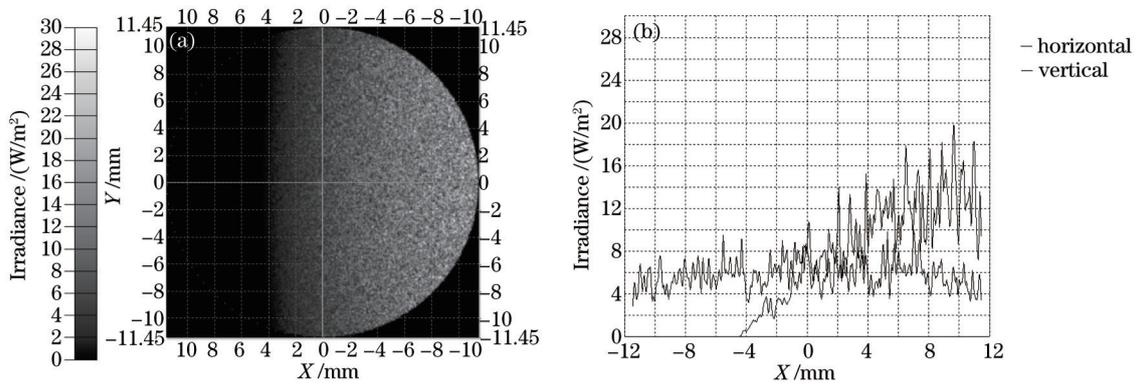


图3 2.40°杂散光分布。(a) 杂散光示意图;(b) 杂散光详细数据

Fig.3 Distribution of 2.40° stray light. (a) Sketch of stray light; (b) details of stray light

用2.40°离轴角环带光源进行追迹,得到如图4所示杂散光斑,虚线框内区域为实际像面。

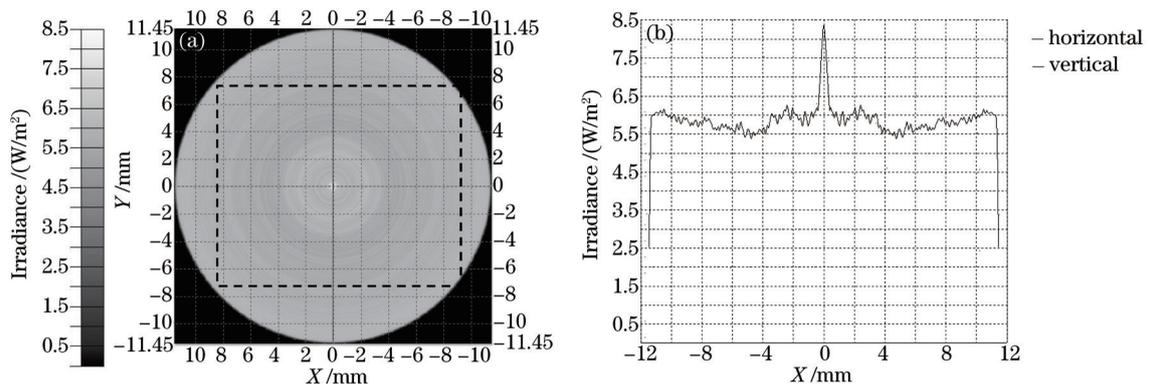


图4 杂散光斑。(a) 杂散光示意图;(b) 杂散光详细数据

Fig.4 Spot of stray light. (a) Sketch of stray light; (b) details of stray light

由图4(a)可知,在像面均匀的背景光中间有一个明显的圆形光斑,光斑位于像面圆心处。由图4(b)可知,光斑直径约为7.5 mm,像面平均辐照度为5.8004 W/m²。光源在遮光罩入口处的辐照度为1.9894×10⁴ W/m²。可以计算得到改进的点源透过率为2.92×10⁻⁴。

对可见光系统做实际杂散光测试分析,系统对成像进行增强处理后,在电子显示屏上得到杂散光测试结果,如图5所示。通过测量,实际光斑平均直径为7.3 mm,分析结果光斑直径与实际光斑直径误差由测量误差引起,则相对误差为0.2 mm/7.3 mm×100%=2.74%,可认为分析结果光斑与实际测试光斑一致。



图5 杂散光测试结果

Fig.5 Result of stray light test

由于此一次散射表面能够在像面上显示出一个明显的亮斑,严重影响系统的成像质量。另外,杂散光在像面上形成的背景光辐照度较高,影响成像的对比度。因此需要对此压圈做结构修改,将直孔压圈改成锥孔压圈,并在锥形面上车削消光纹。

对修改后的镜头进行杂散光软件分析,通过分析可以得到如图6所示的分析结果。由图6(a)可知原像面中心的明显光斑已经消除,由图6(b)可知像面平均辐照度为 0.70235 W/m^2 ,计算可得改进的点源透过率为 3.53×10^{-5} 。

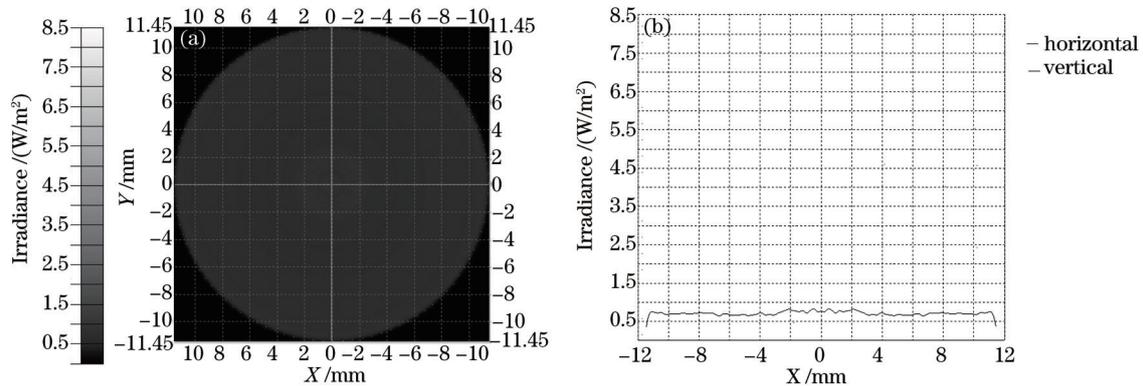


图6 修改后的分析结果。(a) 杂散光示意图; (b) 杂散光详细数据

Fig.6 Analysis result of modified model. (a) Sketch of stray light; (b) details of stray light

对透镜 18 压圈结构修改之后的相机进行实际杂散光测试,测试结果如图 7 所示。



图7 修改后的杂光测试结果

Fig.7 Result of stray light test after modification

由实际测试结果可知,通过修改压圈结构后,达到了消除杂散光斑的目的,同时像面平均辐照度明显降低。由此可知,通过软件分析得到的杂散光斑及其来源是符合实际情况的,并且验证了 TracePro 软件分析的正确性与准确性。在以后的设计工作中,可以根据 TracePro 软件分析结果进行优化设计。

4 结 论

根据光电跟踪测量系统可见光镜头成像中心有杂散光斑的实际情况,对该镜头进行杂散光软件分析,分析得到杂散光斑以及杂散光斑的来源。通过修改一次散射表面,能够消除杂散光斑,与实际测试结果一致。实验结果表明,杂散光斑的主要来源为透镜 18 压圈内表面的散射,杂散光源为 $2.20^\circ \sim 2.65^\circ$ 离轴角光线;修改结构后,杂散光斑消除,点源透过率由 2.92×10^{-4} 降低到 3.53×10^{-5} 。TracePro 软件分析方法具有正确性与准确性,可以用于以后光机系统的优化设计。

参 考 文 献

- 1 Mark A. General algorithm for stray light measurements of remote sensing imagery[C]. SPIE, 2006, 6291: 62910Y.
- 2 James L, Hendrix, Schweyen J, *et al.*. Ghost analysis visualization techniques for complex systems: examples from the NIF final optics assembly[C]. SPIE, 1999, 3492: 306-320.
- 3 Bitlis B, Jansson P A, Allebach J P. Parametric point spread function modeling and reduction of stray light effects in digital still cameras[C]. SPIE, 2007, 6498: 64980V.
- 4 Shi R B, Zhou J K, Ji Y Q, *et al.*. Stray light analysis and baffle design of remote sensing camera for microsatellite[C]. SPIE, 2009, 7506: 750607.
- 5 Schwartz R, Bloomberg S, Mom M, *et al.*. Stray radiation in airborne FLIR system[C]. SPIE, 2003, 4820: 676-687.
- 6 Kim Y C, Kim D, Kim I. Stray-Light implementation in optical proximity correction (OPC)[C]. SPIE, 2007, 6607: 66071M.

- 7 Zhong Xing, Zhang Lei, Jin Guang. Stray light removing of reflective optical system[J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(2): 316-318.
钟 兴, 张 雷, 金 光. 反射光学系统杂散光的消除[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(2): 316-318.
- 8 Lü Junwei, He Youjin, Han Yanli. The Theory of Photoelectric Tracking and Measurement[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2010.
吕俊伟, 何友金, 韩艳丽. 光电跟踪测量原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- 9 Yuan Yukai. Stray light suppressing measure of optical system[J]. Journal of Atmospheric and Environmental Optics, 2007, 2(1): 6-10.
原育凯. 光学系统杂散光的消除方法[J]. 大气与环境光学学报, 2007, 2(1): 6-10.
- 10 Chen Huiyi. Stray Light Analysis of Space Optical Systems[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2012.
陈慧毅. 空间光学系统杂散光分析[D]. 北京: 北京理工大学, 2012.
- 11 Du Baolin. The Study and Suppression of Stray Radiation in Space Remote Sensors[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2010.
杜保林. 空间遥感器的杂散辐射研究与防护[D]. 北京: 北京理工大学, 2010.