

月球模拟器光源设计

赵明强¹ 张国玉^{1,2,3} 郑茹^{1,2,3} 孙高飞^{1,2,3}

¹长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022

²吉林省光电测控仪器工程技术研究中心, 吉林 长春 130022

³光电测控与光电信息传输技术教育部重点实验室, 吉林 长春 130022

摘要 针对传统的月球模拟器的设计原理复杂、成本较高、辐照特性差等缺点,应用液晶光阀技术设计了一种新型的月球模拟器,并重点对月球模拟器光源进行了研究。硅基液晶(LCOS)光学拼接技术的应用有效提高了月球模拟器的精度与模拟能力。通过控制程序对LCOS像素电压的调节,促使LCOS将入射光调制成不同的状态,从而模拟不同的月相及辐射特性。仿真结果表明:设计的月球模拟器光源可以模拟多样性的月相,并且亮度不均匀性好。采用LCOS器件的模拟器相对传统模拟器有效提高了控制精度、减小了模拟器体积。

关键词 光学器件;模拟器;硅基液晶;光学拼接;软件仿真

中图分类号 V524.3 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.092301

Design of the Moon Simulator Source

Zhao Mingqiang¹ Zhang Guoyu^{1,2,3} Zheng Ru^{1,2,3} Sun Gaofei^{1,2,3}

¹Institute of Photoelectric Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China

²Jilin Engineering Research Center of Photoelectric Measurement & Control Instruments,
Changchun, Jilin 130022, China

³Key Laboratory of Optoelectronic Monitoring-Controlling and Optical Information Transmission Technology,
Ministry of Education, Changchun, Jilin 130022, China

Abstract The traditional lunar simulator have characteristics shortcomings of complex design principles, high cost and poor radiation. In this article, we apply liquid crystal light valve technology to design a new lunar simulator, and focus on the light source of lunar simulator. Application of liquid crystal on silicon (LCOS) optical splicing technology effectively improves the accuracy and simulation capabilities of lunar simulator. Through the control program to adjust LCOS pixel voltage, LCOS modulates the incident light into different states, so it can simulate different radiation characteristics and phases. Simulation results show that: the design of the light source simulated by lunar simulate can simulate the phase diversity, and uneven brightness is good. Using LCOS device simulator effectively improves the control precision, rednces the volume of the simulator compared with the traditional simulator.

Key words optical devices; simulator; liquid crystal on silicon; optical splicing; software simulation

OCIS codes 230.1150; 230.2090; 230.4685; 250.4745

1 引言

20世纪人类发启了对月球的探索,并取得了显著的成效,从发射探月卫星到登月成功,月球神秘的面纱在逐渐被掀开^[1]。航天器上应用的敏感器的性能与精度也在逐步提高,对其地面测试设备月球模拟器也有了更高的要求。月球模拟器是用来模拟月球几何特征、辐射特性以及特定“月相”,来为敏感器提供目标源^[2-3]。在以往的模拟器研究中,主要以太阳模拟器、地球模拟器和星模拟器为主,对月球模拟器的研究鲜有报道^[4]。由于传统的月球模拟器设计原理复杂、体积大、辐照特性差等缺点,已经无法满足现在空间模拟的需求^[5]。为此

收稿日期: 2014-04-18; 收到修改稿日期: 2014-05-15; 网络出版日期: 2014-07-30

作者简介: 赵明强(1989—),男,硕士研究生,主要从事航天器地面标定方面的研究。E-mail: 1013961164@qq.com

导师简介: 张国玉(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事光电检测与航天器模拟技术等方面的研究。

E-mail: zh_guoyu@163.com

设计了一种以硅基液晶(LCOS)阵列作为反光器件的月球模拟器光源,并对其进行了模拟分析。

2 工作原理

月球模拟器系统主要由计算机控制系统、数字光处理电路、专用驱动电路、成像器件、照明光源、光学系统等部分组成,其中,照明系统主要由照明光源及滤光片组成。月球模拟器工作原理如图1所示,计算机控制系统控制信号及驱动电路使显示器件形成不同的通光图形和不同的亮度,照明光源发出的光经过成像器件后可以模拟月球的几何特性与辐射特性,光线经过光学系统最终照射到接收器。

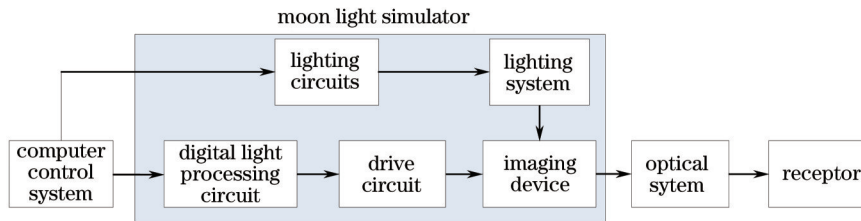


图1 月球模拟器工作原理

Fig.1 Operating principle of moon simulator

3 月球模拟器光源设计

模拟器的光源主要由成像器件、偏振分光棱镜和照明系统等组成。

3.1 成像器件的选取

国内外最常用的成像器件有数字微镜器件(DMD),薄膜晶体管液晶显示屏(TFT-LCD), LCOS等,因为LCOS比其他器件具有更高分辨率和对对比度,所以更加适合于高精度特性的动态模拟器,因此本文论述的光源模拟器件选用LCOS芯片,分辨率为4096 pixel \times 2160 pixel,像元大小为8.5 μ m,尺寸为34.816 mm \times 18.36 mm。

3.2 LCOS的显示原理

当LCOS某像素存在外加电压时,如果有偏振光经过偏振光分束器(PBS)入射到该像素时,该像素会使入射光偏振方向发生偏转,将s偏振光变为p偏振光或p偏振光变为s偏振光出射,并直接透过PBS棱镜进入衔接的光学系统。当LCOS某像素无外加电压时,如果有偏振光经过PBS入射到该像素时,该像素不会使入射偏振光方向发生偏转,偏振光将被直接反射,经过PBS棱镜延原方向出射^[6]。LCOS显示原理如图2所示。

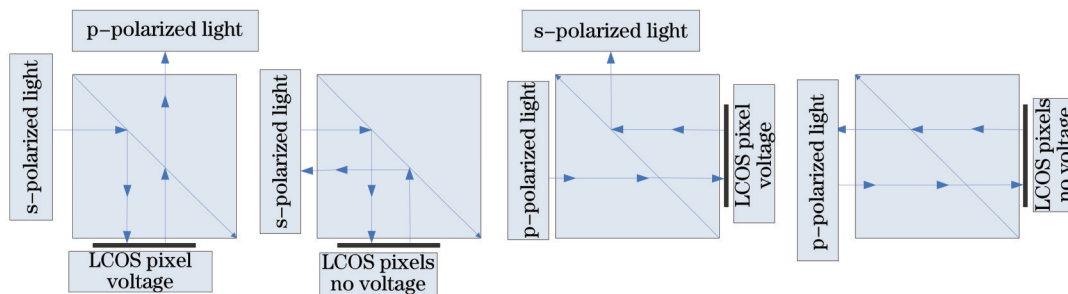


图2 LCOS显示原理

Fig.2 LCOS display principle

3.3 照明系统的设计

由于系统是由LCOS器件作为光学开关,其可以调制传播光的形状的同时,还可以调节光的亮度,但无法控制光的光谱特性,而光的光谱特性是由光源所决定的,为了满足光谱特性,设计的月球模拟器的照明系统要为LCOS器件提供适合的光源。由于月球是反射的太阳光,故其光学特性与太阳光相同,根据月球光谱要求,选用卤钨灯作为光源,卤钨灯的光谱范围为340~2500 nm,覆盖波段范围广泛,在卤钨灯的前端放置一块滤光片和一块毛玻璃,就可以得到340~2500 nm区间内任意波段均匀性良好的模拟光谱。月球光谱曲线如图3所示^[7],卤钨灯的热温光谱曲线如图4所示。

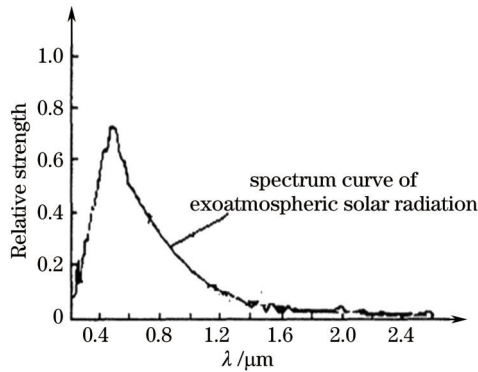


图3 太阳/月球的光谱曲线

Fig.3 Solar/Moon spectrum curve

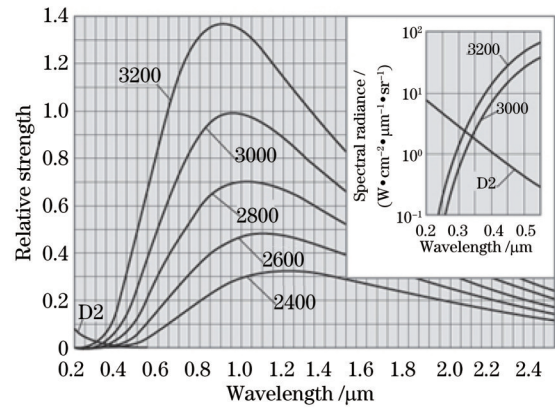


图4 卤钨灯的热温光谱曲线

Fig.4 Hot temperature spectral curves of halogen lamp

3.4 LCOS 光学拼接

为了提高月球的几何特性的模拟及控制精度,采取两片液晶光阀拼接的方法来满足技术指标的要求,因此为了获得最大面积,对短边像素进行拼接,拼接后的有效发光面的分辨率为 $4096 \text{ pixel} \times 4096 \text{ pixel}$ 。由于要通过照明系统对 LCOS 提供模拟光,因此 LCOS 器件与光学系统之间必须有足够的空间以容纳偏振分光棱镜^[8]。其偏振分光界面由高折射率透明介质薄膜和低折射率透明介质薄膜组成,光线以布儒斯特角入射到分界面,其中的 p 偏振光可直接通过分界面,而 s 偏振光会被反射。LCOS 光学拼接及原理图如图 5 所示。

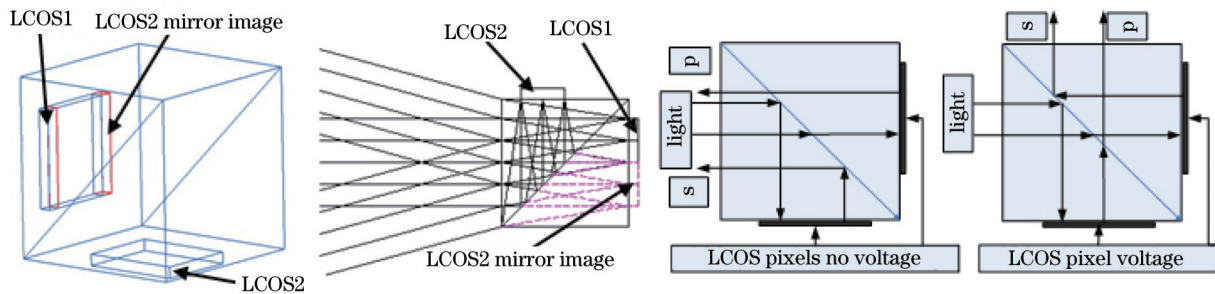


图5 LCOS 光学拼接及原理图

Fig.5 LCOS optical splicing and schematics

4 月球模拟器光源控制

月球模拟器是一种用来模拟月球几何特征、辐射特性以及特定“月相”的地面测试设备,因此要求软件在设计时,拥有不同月相的界面窗口,以方便月相的选择与变化,同时月球模拟器模拟月相的时候,还可以实现发光面亮度连续可调,以便根据不同需要调节亮度。

在软件控制界面上,分别设有 15 种特殊月相的快捷按键和一个月相编辑窗口,可以根据所定义的月相及所需的月相进行选取。在亮度调节方面,月球模拟器可以实现亮度 0~255 级可调,同时设有全开、全关、半亮、1/4 亮度四个快捷按键,进行亮度定标,并设定快捷按键。月相选择功能界面图如图 6 所示,亮度参数设定如图 7 所示。

5 模拟仿真

按照月球模拟器光源的照明系统、LCOS 及 PBS 的几何尺寸、相对空间位置,在照明系统仿真设计软件 Lighttools 中进行建模。建模的目的是对上述设计的月球模拟器光源进行验证,同时对月球模拟器光源进行模拟仿真设计,通过建模与蒙特卡罗光线追迹对月球模拟器光源的辐射特性及月相等进行仿真分析^[8]。

采用 1 W 带有反光碗的卤钨灯作为光源,查阅卤钨灯资料获悉其发光效率为 40% 左右,因此设置卤钨灯功率为 0.4 W。根据卤钨灯的配光曲线,其发散角为 $2\theta=120^\circ$ 。将卤钨灯的配光及光谱曲线加载到 Lighttools 中。毛玻璃透射率为 40%,并设置成朗伯散射,PBS 的分光面设置为半反半透,LCOS 表面设置为

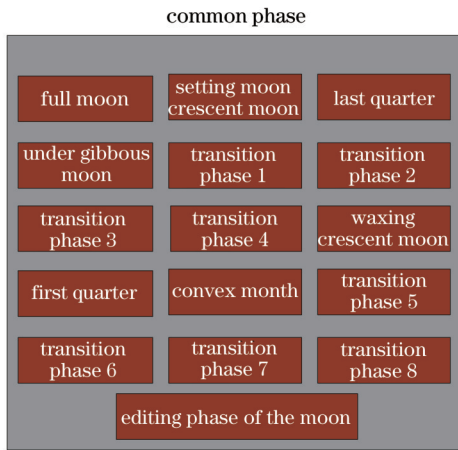


图6 月相选择功能界面

Fig.6 Phase selection function interface

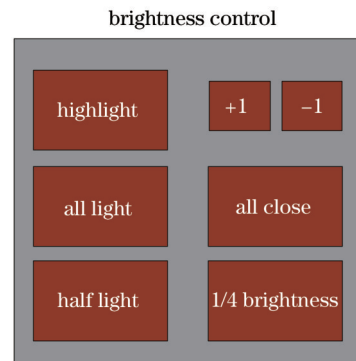


图7 亮度参数设定界面

Fig.7 Brightness parameter setting interface

全反射,为了弥补PBS的分光面设置为半反半透造成的能量损失,LCOS设置反射率为70%,在出光方向的PBS表面设置虚拟面,并且在虚拟面上添加接收器与亮度计,亮度计采用固定孔径方式,孔径设置为 $\Phi 4\text{ mm}$,网格设置为 72×72 。追迹 10^7 条光线,亮度的最大峰值误差为 $3.6\% < 5\%$,追迹可以信赖。满月仿真结果如图8所示,满月仿真不均匀度如表1所示。月球模拟器15种月相仿真建模图如图9所示。从图9中可以看出光源仿真边界并不清晰,采用在后继光学系统中添加衰减片以削弱边缘亮度不均匀对月相的影响的方法,可以提高边缘清晰度。

表1 满月仿真不均匀度

Table 1 Simulation unevenness of the full moon

Max illumination / (W/m^2)	Min illumination / (W/m^2)	Unevenness of illumination /%	Max brightness / [$W/(m^2 \cdot sr)$]	Min brightness / [$W/(m^2 \cdot sr)$]	Unevenness of brightness /%
119.65	104.23	6.9	14.78	12.35	8.9

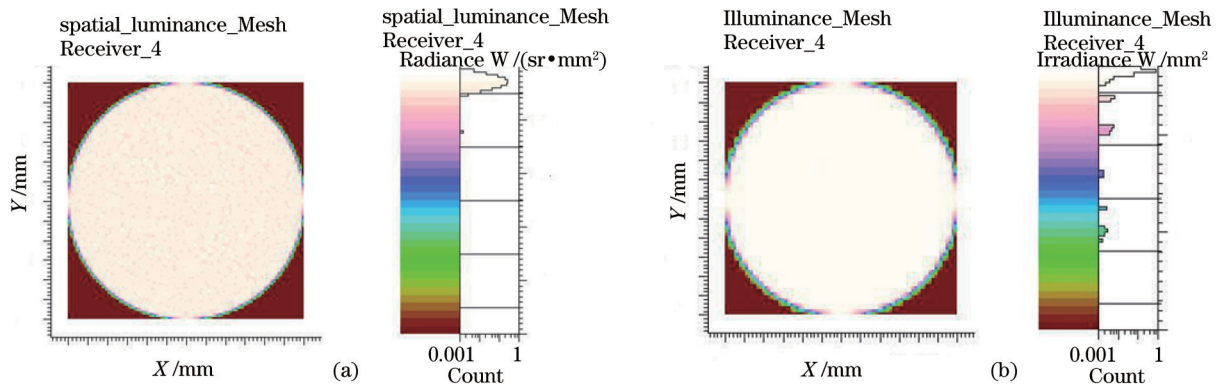


图8 满月仿真结果

Fig.8 Full moon simulation results

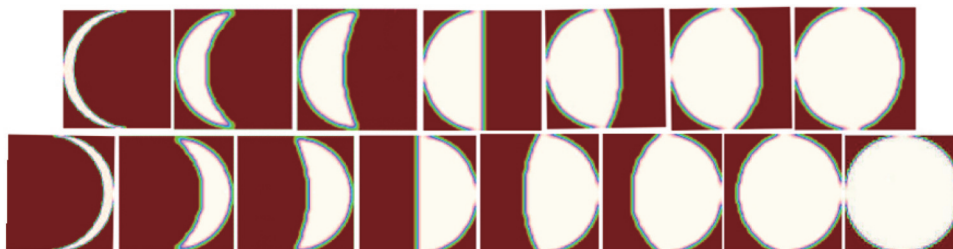


图9 月球模拟器15种月相仿真建模图

Fig.9 15 kinds of simulation modeling phase diagram by lunar simulator

6 结 论

从 Lighttools 仿真模拟结果可以看出所设计的月球模拟器光源可以模拟出常用的 15 种月相,如果所需月相不是常用的 15 种月相,可以通过月相编辑窗口,将所需图片以画图板格式存储,可在月球模拟器中载入并生成相应光斑。同时查阅月相模拟的亮度计所测量的辐亮度相关数据,其亮度大于 $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$,其最大亮度不均匀性小于 10%。与传统的大型月球模拟器光源相比,本文设计的月球模拟器光源采用 LCOS 拼接技术,体积小、控制精度高、月相模拟能力强、辐射特性调节简单快捷。

参 考 文 献

- 1 Huang Xin, Wang Li, Lu Xin. An ultraviolet lunar sensor for CE-1 spacecraft [J]. Space Control Technology and Application, 2008, 34(1): 51-55.
黄欣,王立,卢欣.嫦娥一号卫星紫外月球敏感器[J].空间控制技术与应用,2008,34(1):51-55.
- 2 Yu Shuang, Zhang Guoyu. The optical design of the moon simulator [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2010,3: 51-52.
于爽,张国玉.红外月球模拟器光学系统设计[J].装备制造技术,2010,3:51-52.
- 3 Zhang Guoyu, Zhang Fan, Xu Xiping, *et al.*. Research on a miniature collimating infrared earth simulator [J]. J Scientific Instrument, 2007, 28(3): 540-549.
张国玉,张帆,徐熙平,等.小型准直式红外地球模拟器研究[J].仪器仪表学报,2007,28(3):540-549.
- 4 Wang Yuan, Zhang Linhua. Design of a new type of full spectrum solar simulator [J]. Solar Sinica, 2006, 27(11): 1132-1136.
王元,张林华.一种新型全光谱太阳模拟器设计[J].太阳能学报,2006,27(11):1132-1136.
- 5 Sun Jiachi, Zhang Guoyu, Zheng Ru, *et al.*. Large overall the moon simulator study [J]. Optical Instruments, 2014, 36(1): 78-83.
孙嘉池,张国玉,郑如,等.大型月球模拟器总体研究[J].光学仪器,2014,36(1):78-83.
- 6 Dai Yongping. Micro LCOS display technology [J]. LCD to Display, 2009, 24(4): 472-477.
代永平. LCOS 微显示技术[J].液晶与显示,2009,24(4):472-477.
- 7 Fu Ming, Zhang Guoyu, Zheng Ru, *et al.*. Large moon simulator optical system design and simulation [J]. Laser and Optoelectronics Progress, 2013, 50(12): 122202.
付明,张国玉,郑如,等.大型月球模拟器光学系统设计及仿真[J].激光与光电子学进展,2013,50(12):122202.
- 8 Deng Yunlong, Deng Huaqiu, Xu Xiao. Wide angle wide wavelength polarization beamsplitters system design study [J]. Journal of Laser and Infrared, 2005, 35(12): 971-973.
邓云龙,邓华秋,徐晓.宽角度宽波长偏振分光膜系的设计研究[J].激光与红外,2005,35(12):971-973.