

文章编号 1004-924X(2008)10-1805-05

激光为光源的液晶自适应眼底成像系统

姜宝光^{1,2}, 曹召良^{1,2}, 穆全全^{1,2}, 李抄^{1,2}, 夏明亮^{1,2}

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:建立了一套基于液晶波前校正器的模拟人眼眼底自适应成像系统,该系统采用 Shark-Hartman 波前探测器进行波面探测,将探测所得波前畸变经过计算处理转化为灰度图,通过电脑施加到 LCOS 上进行波面校正,通过校正人眼像差的方式来提高系统成像质量。经过校正后,系统波前误差从 $1.92\ \mu\text{m}$ 降低到 $0.048\ \mu\text{m}$,系统分辨率接近 $70\ \text{lp/mm}$,已经达到该光学系统衍射极限分辨。研究表明,该系统可以满足低阶大像差情况下的模拟人眼视网膜成像要求。

关键词:自适应光学;视网膜成像;夏克哈特曼波前传感器;LCOS;衍射极限

中图分类号: O439; TH703 **文献标识码:** A

Liquid crystal based retina adaptive optical imaging system with laser source

JIANG Bao-guang^{1,2}, CAO Zhao-liang^{1,2}, MU Quan-quan^{1,2}, LI Chao^{1,2}, XIA Ming-liang^{1,2}

- (1. *State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China*)

Abstract: In order to get a better retina image and to correct the aberrations of human eyes, a model of eye adaptive optical imaging system based on liquid crystal was demonstrated. The Liquid Crystal On Silicon(LCOS) and HASO32 were used as a wave-front corrector and a wave-front detector, respectively. Then the wave-front aberration detected was calculated and converted into voltage value to correct the aberration by a computer on the LCOS. The optical performance of the model eye was improved by correcting the optical aberration of its own. After correction, the wave-front error is reduced from $1.92\ \mu\text{m}$ to $0.048\ \mu\text{m}$ in peak-to-valley, and the optical system diffraction limit is approached to $70\ \text{lp/mm}$, which shows the system has gotten a good image for the retina at a circumstance of low order and large aberration.

Key words: adaptive optics; retina imaging; Shack-Hartman wave-front detector; Liquid Crystal On Silicon(LCOS); diffraction limit

收稿日期:2008-01-07;修订日期:2008-02-08.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 60578035; No. 50473040; No. 60736042);吉林省科学基金资助项目(No. 20050520; No. 20050321-2)

1 引言

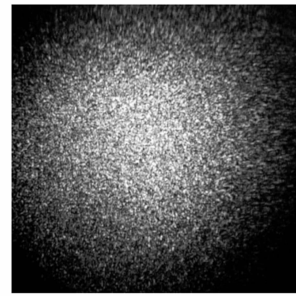
人眼视网膜的成像研究从上个世纪以来一直得到人们的广泛关注,这是因为不仅人眼的疾病会导致视网膜上的血管、细胞的病变,而且人体其他器官的疾病也会引起视网膜的病变,如糖尿病、循环和代谢障碍等等。因此,眼底镜在临床上已成为人眼眼底成像的常用工具。但是由于人眼的像差随着年龄不同或者疾病不同在个体上会有较大的差异,而且同一个体在不同时刻的人眼像差也不相同,因此仅仅使用检眼镜是不能够满足细胞级成像分辨要求的。自适应光学技术^[1]的出现解决了这一难题。自适应光学具有实时动态校正的特点,通过循环的闭环校正可以解决动态干扰问题,进而接近或者达到系统衍射极限分辨。

在 1961 年 Smirnov^[2]首次提出通过校正人眼自身像差来提高眼底成像质量的方法之后,许多研究机构进行了大量的人眼像差校正的研究,其中最成熟的技术就是基于变形镜为波前校正器的人眼像差探测及成像^[3-6]。变形镜波前校正器具有响应速度快,光能量利用率高等特点,其缺点在于:像素密度低,驱动电压高,体积相对较大和对变化较陡峭的波面校正精度低。与其相比,液晶波前校正器具有以下特点。首先,液晶波前校正器^[7]像素密度高,通过 Phase-wrapping^[8]的方法很容易实现大校正量的调制;其次,结构轻巧且能和 IC 电路匹配,造价相对于变形镜要便宜得多,在临床上的普及会更加容易。因此,本文采用液晶波前校正器来校正波面误差。

2 自适应成像系统

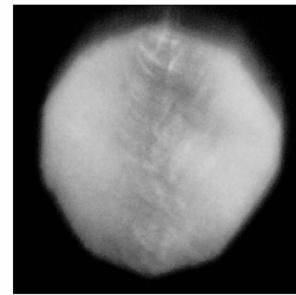
液晶分子对非单色光有色散作用^[9],通常的办法是用半波宽度为 5 nm 的窄带滤光片来进行窄带滤波,但这样会损失大量的能量。本文所采用的探测和成像光源为半导体激光器,波长 532 nm。由于激光的强相干性所导致的激光散斑会影响成像质量和哈特曼波前探测器的探测精度,因此,采用了激光匀光器来消除激光干涉散斑^[10]。图 1 为 CCD 所成的纸屏像。其中图 1(b)中黑色斑线为铅笔所画的细线。

引入激光匀光器后,系统在抑制激光散斑的



(a) 未使用激光匀光器

(a) With diffuser



(b) 使用激光匀光器

(b) Without diffuser

图 1 CCD 成像

Fig. 1 CCD imaging

同时,还可以利用激光的单色性。虽然激光匀光器会导致光能的损失(25%的透过率),但是可以通过提高激光光源的发光强度来满足实验要求,而且激光光源的最大光强远比白光要高得多。图 2 为模拟人眼系统,本实验用洒有墨粉颗粒的纸屏作为视网膜,前面的透镜和小孔分别模拟人眼的晶状体和瞳孔,其中透镜焦距为 25 mm,和人眼焦距接近。

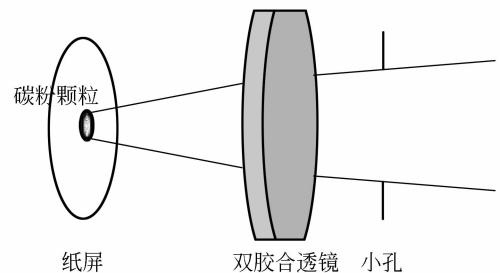


图 2 模型眼

Fig. 2 Eye model

图 3 为光路示意图。半导体激光器发出的光

经过激光匀光器后,发散光被透镜 L_1 所收集。被 L_1 汇聚的光通过半反半透片 BS_1 反射后进入到模型眼。

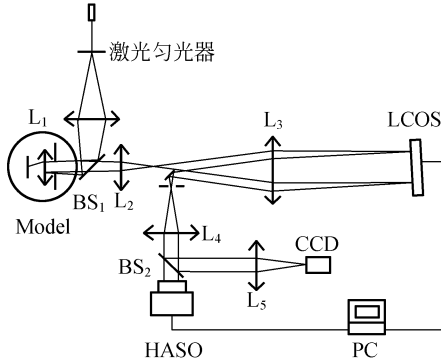


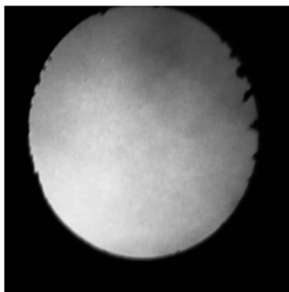
图 3 系统示意图

Fig. 3 Schematic diagram on system

从模型眼反射的光被透镜 L_2 汇聚后被透镜 L_3 准直,准直之后的平行光照射在 LCOS 上。由于 LCOS 面与垂直方向夹角为 3° ,所以反射的光被 L_3 再次汇聚分焦点,焦点之前放置的一个反射镜起折轴的作用。本文在焦点处放置一个小孔用于滤波,小孔只让 LOCS 上施加的衍射光栅衍射的 1 级光通过^[11],其他级次的光和杂光被滤掉。经过透镜 L_4 准直的光经过 BS_2 后,一部分进入哈特曼波前传感器进行波面探测,另一部分用来成像。

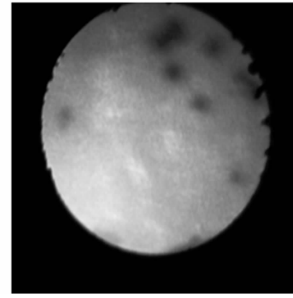
3 实验结果

图 4 是纸屏上墨粉颗粒的像,可以看出墨粉颗粒成像质量得到明显改善。



(a)校正前

(a) Before correction



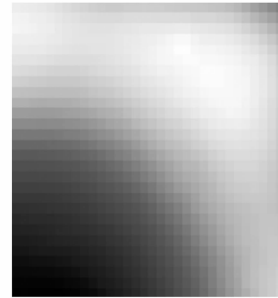
(b)校正后

(b) After correction

图 4 纸屏碳粒像

Fig. 4 Images of carbon granule

图 5 为校正前后的波面平整度对比,经过闭环校正后原来畸变较大的波面被校正平整。



(a)校正前

(a) before correction



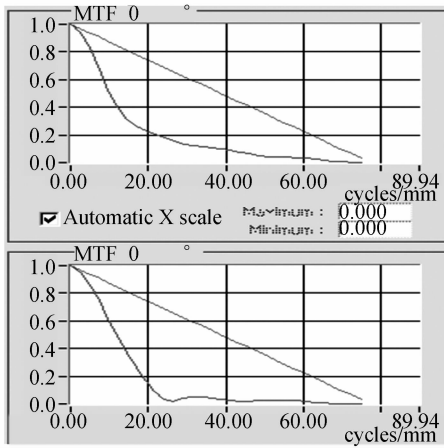
(b)校正后

(b) after correction

图 5 波面平整度

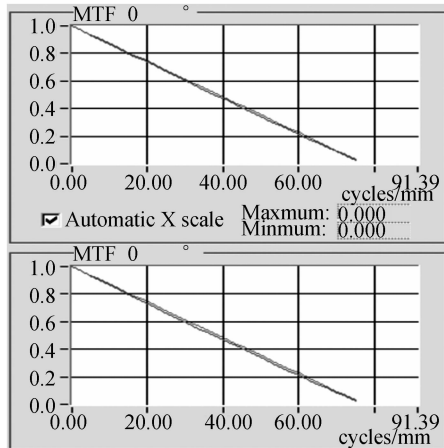
Fig. 5 Wave-front map

系统中的波面误差主要由 3 方面组成, LCOS 平面的不平整,外界环境的扰动和通过前后调整纸屏位置所人为施加的离焦。



(a) 校正前

(a) before correction



(b) 校正后

(b) after correction

图 6 系统 MTF 曲线

Fig. 6 MTF curves

图 6 为校正前后水平方向和垂直方向的系统调制传递函数,从图中看出校正之后的系统分辨率已经达到系统的衍射极限。如果定义系统的临界频率为 0.1,从图中可以看出水平方向分辨率从校正前的 40 lp/mm 提高到 70 lp/mm,垂直方向的分辨率从 23 lp/mm 提高到 68 lp/mm。图中绿色线为系统衍射极限分辨。经过校正之后,系统水平方向和垂直方向都到达了系统的衍射极限。

4 结 论

本文描述了一个基于 LCOS 波前校正器的模型眼眼底自适应成像系统。经过自适应校正之后系统的分辨能力大大改善,接近 70 lp/mm,已经到达了系统的衍射极限分辨。波前误差从校正前的 $1.92 \mu\text{m}$ 降低到 $0.048 \mu\text{m}$,系统闭环校正带宽为 20 Hz,远高于人眼微扰动频率 10 Hz。结果表明,液晶波前校正器可以用来校正人眼的波前畸变,进而提高眼底成像质量。

参考文献:

- [1] BABCOCK H W. The possibility of compensating astronomical seeing[J]. *Publ Astron. Soc. Pac.*, 1953, 65: 229-236.
- [2] SMIRNOV M S. *Measurement of Wave Aberration in the Human Eye*[M]. USSR:Biophysics,1961.
- [3] LING N,ZHANG Y, RAO X, *et al.*. Small table-top adaptive optical systems for human retinal imaging[J]. *SPIE*,2002,4825:99-108.
- [4] LIANG J,GRIMM B,GOELZ S, *et al.*. Objective measurement of the wave aberration of the human eye with the use of a Hartman-Shack wave-front sensor[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1994, 11: 1949-1957.
- [5] FERNANDEZ E J,ARTAL P. Membrane deformable mirror for adaptive optics performance limits in visual optics [J]. *Optics Express*, 2003,11(9):1056-1069.
- [6] 曹正林,廖文和,沈建新. Zernike 多项式拟合人眼波前像差的一种新算法[J]. *光学 精密工程*,2006, 14(2): 308-314.
- CAO ZH L,LIAO W H,SHEN J X. A new algorithm for human eye's wave-front aberration fitting with Zernike polynomial[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(2):308-314. (in Chinese)

- [7] 刘伯晗,张健,吴丽莹. 液晶空间光调制器的纯相位调制特性研究[J]. 光学精密工程, 2006, 14(2): 213-217.
LIU B H, ZHANG J, WU L Y. Research of the phase-only modulation characterization of a liquid crystal spatial light modulator[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(2):213-217. (in Chinese)
- [8] CAO ZH L, XUAN L, HU L F, *et al.*. Effects of the space-bandwidth product on the liquid-crystal kinoform[J]. *Opt. Express*, 2005, 13(14):5186-5191.
- [9] LI D Y, MU Q Q, HU L F, *et al.*. The investigation of phase dispersive characteristics about phase-only Liquid crystal special light modulator[J]. *Acta Photon. Sin.*, 2002, 6:1065-1067.
- [10] 田志辉,刘伟奇,李霞,等. 激光显示中散斑的减弱[J]. 光学精密工程, 2007, 15(9): 1366-1370.
TIAN ZH H, LIU W Q, LI X, *et al.*. Speckle contrast reduction in laser display[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(9):1366-1370. (in Chinese)
- [11] CAO ZH L, MU Q Q, DOVILLAIRE G, *et al.*. Effect of the twisted alignment on the liquid crystal wave-front corrector[J]. *Liquid Crystals*, 2007, 34(10): 1227-1232.

作者简介:姜宝光(1982—),男,吉林长春人,博士,主要从事人眼波前探测,人眼眼底成像等方面的研究。E-mail:jiangbg04@sina.com

导师简介:宣丽(1957—),女,吉林长春人,博士,研究员,博士生导师,主要从事液晶材料及液晶光学等方面研究。E-mail: xuanli@ciomp.ac.cn

●下期预告

空间紫外遥感仪器漫反射板真空紫外辐照特性

张振铎^{1,2},王淑荣¹,李福田¹,李博^{1,2},林冠宇¹,袁钾光³

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;2. 中国科学院 研究生院,北京 100039;
3. 中国人民解放军总装备部沈阳军代局驻长春地区军代室,吉林 长春 130033)

由于漫反射板漫反射率值的变化将直接影响空间紫外遥感仪器在轨辐射定标结果,于是对各种影响因素进行了研究。基于空间紫外辐照环境,构建了漫反射板真空紫外辐照特性研究装置,利用该装置对空间紫外遥感仪器 AL+MgF₂ 漫反射板的真空紫外辐照特性进行了研究。实验结果表明,真空紫外辐照加速了漫反射板漫反射率值的衰减;漫反射板在 160~300 nm 整个波段出现衰减现象;衰减程度随辐照时间的增加不断增大;各波长处的衰减呈线性规律变化,衰减速率随波长的不同而不同。对可能引起衰减的原因进行了初步分析。