

文章编号:1007-2780(2009)03-0396-03

液晶波前校正器校正水平方向上的大气湍流

姜宝光^{1,2}, 穆全全^{1,2}, 曹召良¹, 李 超^{1,2}, 夏明亮^{1,2}, 宣 丽¹

(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, E-mail:jiangbg04@sina.com;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 利用液晶波前校正器和哈特曼波前传感器组成的自适应光学系统对水平方向 500 m 的大气湍流进行校正。首先测定了液晶波前校正器(LCWFC)的位相调制特性,测定结果表明其可以实现一个波长的调制量,同时利用 Gamma 校正实现了位相和灰度之间的线性调制关系。然后将该系统与孔径 220 mm 的望远镜进行对接。液晶自适应校正后,波面均方根误差降低到 0.06λ,实现了 0.68"的系统衍射极限分辨。实验结果表明:液晶波前校正器可以很好地校正水平方向 500 m 的大气湍流扰动。

关 键 词: 液晶波前校正器; 大气湍流; 位相调制
中图分类号: O753.2; TH74 **文献标识码:** A

1 引 言

20 世纪 80 年代,利用液晶波前校正器实现波前校正的思想首次被 Konforti N 等人提出^[1]。由于液晶波前校正器具有单元数多、驱动电压小、成本低和易于小型化等优点,许多科研机构均采用了液晶波前校正器来实现闭环自适应校正^[2-7]。2002 年,美国应用技术协会与空军实验室采用双频液晶材料制作出了 91 单元的液晶波前校正器,成功地克服了大气湍流扰动对成像质量的影响,对 400 km 轨道上的国际空间站太阳能帆板进行了自适应成像。

本文利用向列相 LCOS 波前校正器与哈特曼波前传感器组成自适应系统,成功实现了水平方向 500 m 的湍流校正。

2 液晶波前校正器的位相调制特性

实验中采用的液晶波前校正器为 BNS 公司生产的平行取向的向列相液晶空间光调制器 PFP512。首先利用 ZYGO 干涉仪测量了该液晶波前校正器的位相调制特性,位相调制量随灰度的变化如图 1 所示。由于其最大调制量超过 1 个波长,因此可以利用相息图技术^[8-11]来实现位相扩展进行大畸变量校正。由于测得的位相调制量

与灰度级之间是非线性关系,非线性将影响控制程序的计算速度和校正精度,所以需要将该曲线

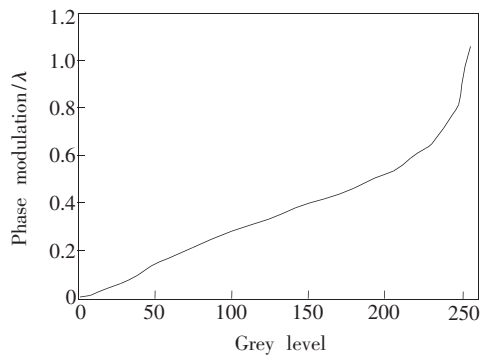


图 1 位相调制量与灰度曲线

Fig. 1 Wavefront modulation and voltage curve

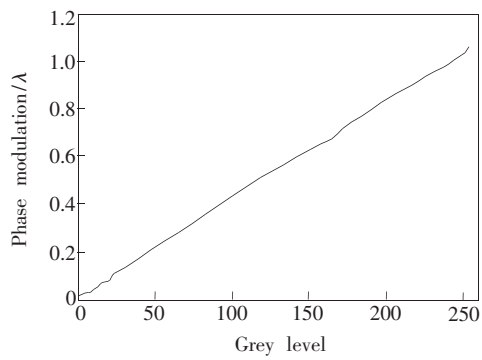


图 2 Gamma 校正后的位相调制量灰度曲线

Fig. 2 Wavefront modulation and voltage curve after Gamma correction

进行线性化校正。

经过位相调制量与灰度级曲线的 γ 校正^[12,13]后,所选出的 256 个灰度级和位相调制呈线性变化关系。调制量与灰度级的关系曲线见图 2。

3 液晶自适应校正

3.1 观测光路

观测光路如图 3 所示。用一个 250 W 氙灯耦合进入光纤,光纤头放在球面反射镜的焦点上来模拟无限远的星体。在距其 500 m 处用口径为 220 mm,焦距为 4.5 m 望远镜进行观测接收。然后对光束中携带的湍流畸变进行自适应校正。

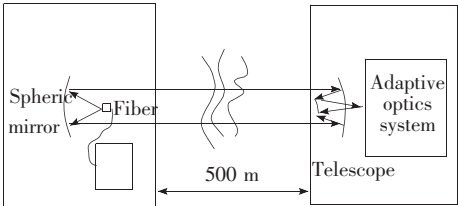


图 3 观测光路
Fig. 3 Optical layout of the turbulence observation

3.2 自适应校正

自适应校正光路如图 4 所示,携带湍流畸变的光经过望远镜的出瞳进入湍流自适应校正系统。经过透镜准直后照射在倾斜镜(Tilt Mirror)校正掉波前中总的倾斜分量。经过反射的光经过偏正分光棱镜后一部分用于波前校正和成像,另一部分进入到哈特曼波前(HS-sensor)传感器中进行波前测量。哈特曼传感器探测到畸变的波前,并反馈给波前控制器即计算机,波前控制器计算出共轭波前并发送给液晶波前校正器进行校正。这样便可以在 CCD 像面上获得清晰的像。

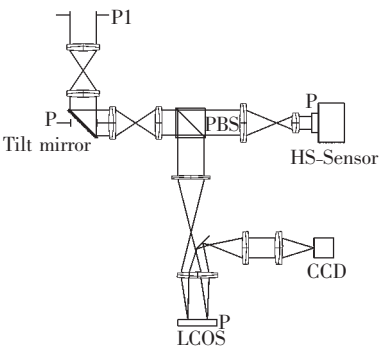


图 4 自适应校正系统原理光路
Fig. 4 Optical layout of the adaptive optics system

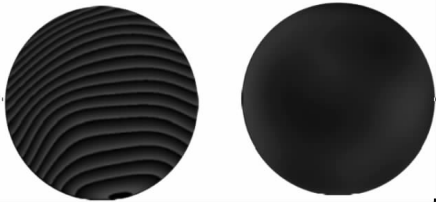


图 5 波面分布图
Fig. 5 Wave-front map

校正前后的波面图如图 5 所示,从图中可以清楚地看出校正之后湍流波前得到了有效的改善。

波面的波前误差均方根值达到 0.06λ ,校正前后的光纤纤芯在 CCD 像面处成像对比如图 6 所示。校正前光纤束的像为一弥散的光斑,校正之后光纤的纤芯可以清晰分辨。校正之后系统角分辨率为 $0.68''$,达到了光学系统的衍射极限分辨。

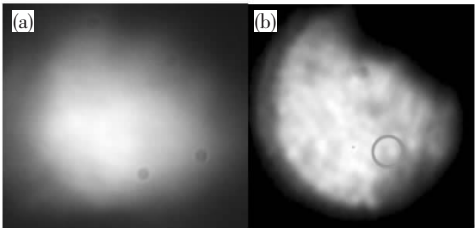


图 6 光纤束在 CCD 像面上所成的像。(a)校正前;(b)校正后。
Fig. 6 Image of the fiber bundle. (a) Without correction; (b) With correction.

4 结 论

利用液晶自适应光学系统实现水平方向大气湍流的自适应校正。测定了 LCOS 液晶波前校正器的位相调制特性,表明其可以调制一个波长(633 nm)。根据 γ 校正的原理,修改了 γ 校正曲线,使得灰度级和位相呈线性关系。利用光纤束模拟无限远发光的星体,在距模拟星 500 m 处,利用液晶波前校正器和哈特曼波前传感器,搭建出液晶自适应光学系统,并和口径 220 mm 望远镜对接来进行湍流探测和校正。闭环自适应校正后,实现了对光纤纤芯的分辨,系统闭环带宽达 4 Hz,表明液晶波前校正器可以实现对大气湍流的校正。但是从校正结果可以看出,虽然分辨出了纤芯,但还没有达到衍射极限的水平。因此,如何提高液晶波前校正器的校正精度成了一个亟待解决的问题。

参 考 文 献:

- [1] Konforti N, Marom E, Wu S T. Phase-only modulation with twisted nematic liquid crystal spatial light modulation [J]. *Opt. Lett.*, 1988, 13(3):251-254.
- [2] Dour R, Giles M K. Closed-loop adaptive-optics system with a liquid crystal television as a phase retarder [J]. *Opt. Lett.*, 1995, 20(14):1583-1585.
- [3] Love G D. Wave-front correction and production of Zernike modes with a liquid-crystal spatial light modulator [J]. *Appl. Opt.*, 1997, 36(7):1517-1524.
- [4] Varga-martin F, Prieto P M, Artal P. Correction of the aberrations in the human eye with a liquid-crystal spatial light modulator; limits to performance [J]. *Josa A*, 1998, 15(9):2552-2562.
- [5] 刘永军, 宣丽, 胡立发, 等. 相位可控液晶空间光调制器的研究 [J]. *光子学报*, 2005, 34(12):1799-1802.
- [6] 刘永军, 宣丽, 胡立发, 等. 平行排列液晶空间光调制器的光学特性 [J]. *光子学报*, 2006, 35(1):65-68.
- [7] Gourlay J, Love G D, Birch P M, *et al.* A real-time closed-loop liquid crystal adaptive optics system; first results [J]. *Opt. Commun.*, 1997, 137(4):17-21.
- [8] CAO Zhaoliang, Xuan Li, Hu Lifa, *et al.* Investigation of optical testing with a phase-only liquid crystal spatial light modulator [J]. *Opt. Express*, 2005, 13(4):1059-1065.
- [9] 李大禹, 胡立发, 穆全全, 等. GPU 计算液晶自适应光学波前重构的并行性研究 [J]. *液晶与显示*, 2007, 22(5):572-575.
- [10] 胡立发. 用平行向列液晶空间光调制器制作相息图的研究 [J]. *液晶与显示*, 2005, 20(2):93-98.
- [11] 曹召良, 穆全全, 胡立发, 等. 液晶波前校正器位相调制非线性及闭环校正研究 [J]. *液晶与显示*, 2008, 23(2):157-160.
- [12] 魏永毅, 李海峰, 刘旭. 液晶投影机自动 Gamma 校正系统 [J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2005 39(11):1727-1729.
- [13] 彭国福, 林正浩. LCD Gamma 校正的硬件实现 [J]. *桂林电子工业学院学报*, 2006 26(1):45-49.

Correction of Turbulence in Horizontal Direction Using a Liquid Crystal Wave-Front Corrector

JIANG Bao-guang, MU Quan-quan, CAO Zhao-liang, LI Chao, XIA Ming-liang, XUAN Li

(1. State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China, E-mail: jiangbg04@sina.com;

2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract

An adaptive optics system integrated with a LCWFC and a Shack-Hartmann wave-front sensor (WFS) were used to correct the turbulence in horizontal direction. Firstly, the phase modulation characteristic of the wave-front corrector was measured. The result showed that it can reach the modulation of 1 wave length. Meanwhile, the linear curve between phase modulation and voltage was gained by Gamma correction. At last, this system was combined with a 220 mm diameter telescope. After correction, the wavefront error was reduced to 0.06λ and the diffractive limits $0.68''$ was also reached. The result shows that this system can corrected the turbulence effectively.

Key words: liquid crystal wave-front corrector; atmosphere turbulence; phase modulation

作者简介:姜宝光(1982—),男,吉林长春人,博士研究生,研究方向为液晶自适应光学。