



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102879110 B

(45) 授权公告日 2014. 07. 09

(21) 申请号 201210388936. 7

卷 (第 3 期), 全文 .

(22) 申请日 2012. 10. 15

审查员 刘文治

(73) 专利权人 中国科学院光电技术研究所
地址 610209 四川省成都市双流 350 信箱

(72) 发明人 王胜千 饶长辉

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责
任公司 11251

代理人 成金玉 卢纪

(51) Int. Cl.

G01J 9/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101936779 A, 2011. 01. 05, 全文 .

CN 102564612 A, 2012. 07. 11, 全文 .

WO 2009/125034 A1, 2009. 10. 15, 全文 .

朱能鸿等 . 利用四棱锥传感器检测光学拼接镜的法向光程差 . 《传感技术学报》. 2009, 第 22

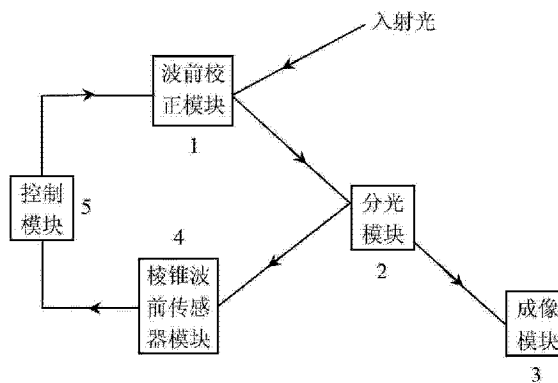
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

基于有调制和无调制组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统

(57) 摘要

一种基于有调制和无调制组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统, 包括 : 波前校正模块、分光模块、成像模块、棱锥波前传感器模块和控制模块 ; 自适应光学系统工作前, 利用有调制工作模式下的棱锥波前传感器进行系统传递函数测量 ; 自适应光学系统工作时, 利用无调制工作模式下的棱锥波前传感器进行闭环控制 ; 本发明不仅能够在系统传递函数测量时提高信噪比, 获得稳定的传递函数矩阵, 同时在闭环控制过程中能够有效提高探测灵敏度。



1. 一种基于有调制和无调制组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统,其特征在于包括:波前校正模块(1)、分光模块(2)、成像模块(3)、棱锥波前传感器模块(4)和控制模块(5);其中棱锥波前传感器模块(4)由调制倾斜镜(6)、聚焦器(7)、棱锥(8)、后继聚焦器(9)和探测器(10)组成;所述自适应光学系统闭环工作前需要对传递函数矩阵进行测量,以一束平行光入射到波前校正模块(1),然后经过分光模块(2)后一部分光入射到棱锥波前传感器模块(4),根据采用的闭环控制模式,在波前校正模块(1)上施加模式面形,此时通过控制调制倾斜镜(6)让棱锥波前传感器模块(4)工作在调制模式下,光束经过聚焦器(7)后聚焦在棱锥(8)的顶点上,经过棱锥(8)的分光作用后,光束继续传输通过后继聚焦器(9),然后成像在探测器(10)上,通过记录探测器(10)上的成像光斑即获得棱锥波前传感器模块(4)在该模式面形下对应的探测信号,随后继续依次施加下一个模式面形并依次记录有调制工作模式下棱锥波前传感器模块(4)对应的探测信号,当所有模式面形对应的探测信号都测量完成后,即获得了系统在该闭环控制模式下的传递函数矩阵;当目标光入射,所述自适应光学系统开始闭环控制工作时,此时将调制倾斜镜(6)的控制电压置零,即让棱锥波前传感器模块(4)工作在无调制模式下,目标入射光经过波前校正模块(1)和分光模块(2)后,一部分光入射到棱锥波前传感器模块(4),记录下棱锥波前传感器对应的探测信号,控制模块(5)根据该探测信号并结合已经测量得到的有调制工作模式时的传递函数矩阵进行运算处理,得到反馈控制信号,驱动波前校正模块(1)对波前误差进行闭环补偿校正,经过分光模块(2)的另一部分光入射到成像模块(3),实现对目标的闭环校正成像。

2. 根据权利要求1所述的一种基于有调制和无调制组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统,其特征在于:所述闭环控制模式为 Zernike 模式控制法、K-L 模式控制法、变形镜本征模式法或变形镜影响函数模式法。

3. 根据权利要求1所述的一种基于有调制和无调制组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统,其特征在于:所述波前校正模块(1)由倾斜镜和变形镜组成,倾斜镜用来校正波前整体倾斜像差,变形镜用来校正除波前整体倾斜像差之外的其它高阶像差。

4. 根据权利要求3所述的一种基于有调制和无调制的组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统,其特征在于:所述倾斜镜和变形镜采用压电陶瓷驱动结构、或 MEMS 结构、或液晶结构。

5. 根据权利要求1所述的一种基于有调制和无调制的组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统,其特征在于:所述分光模块(2)为强度分光、或光谱分光、或偏振分光。

6. 根据权利要求1所述的一种基于有调制和无调制的组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统,其特征在于:所述聚焦器(7)和后继聚焦器(9)为折射式聚焦器件、或反射式聚焦器件。

7. 根据权利要求1所述的一种基于有调制和无调制的组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统,其特征在于:所述棱锥(8)为折射式棱锥或反射式棱锥。

8. 根据权利要求1所述的一种基于有调制和无调制的组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统,其特征在于:所述探测器(10)为科学级 CCD 或科学级 CMOS。

基于有调制和无调制组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于有调制和无调制的组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统。

背景技术

[0002] 自适应光学技术通过光电子器件实时测量波前动态误差,用快速的电子系统进行计算和控制,用能动器件进行实时波前校正,使光学系统具有自动适应外界条件变化、始终保持良好工作状态的能力。通常自适应光学系统包括三个基本组成部分:探测波前误差的波前传感器、提供波前校正信号的波前控制器和动态校正畸变的波前校正器。其中波前传感器实时测量从目标或者目标附近的信标来的波前误差,是自适应光学系统中的核心单元器件,比较典型的包括剪切干涉传感器、哈特曼传感器和曲率传感器:剪切干涉传感器利用光栅衍射效应产生的横向剪切干涉测量波前信息;哈特曼传感器利用子透镜阵列对应聚焦光斑的偏离来获得入射波前的斜率信息;曲率传感器通过测量焦平面前后相同距离处的光强差异得到波前曲率分布的信息。波前传感器的探测精度直接决定了自适应光学系统的闭环校正精度,因此人们在不断研究探测精度更高、灵敏度更强的波前传感器新技术,使其能够满足自适应光学系统日益提高的性能要求。Ragazzoni 在文章“Pupil plane wavefront sensing with an oscillating prism”*Journal of Modern Optics* 43,1996,中首次提出使用棱锥进行波前探测的思想,同哈特曼波前传感器一样,棱锥波前传感器也是一种以波前斜率测量为基础的波前探测装置,但是相比哈特曼波前传感器,其具有一些明显的优点:首先其对光能的利用率更高;另外随着调制幅度的降低,棱锥波前传感器的探测灵敏度会逐渐提高,特别在闭环工作情况下棱锥波前传感器对信号探测的灵敏度要明显高于哈特曼传感器;而且通过改变棱锥的调制幅度和后继透镜的焦距,可以方便实现对波前探测动态范围和采样点数的调整,鉴于上述优点,棱锥波前传感器获得了快速发展。棱锥波前传感器可以采用两种工作模式,分别为有调制工作模式和无调制工作模式。国外文献“On sky test of the pyramid wavefront sensor”*Proc. SPIE* 4839,2003,指出 TNG 望远镜中的自适应光学系统采用的就是有调制工作模式的棱锥波前传感器,国外文献“PYRAMIR: first on-sky results from an infrared pyramid wavefront sensor”*Proc. SPIE*6272,2006,指出 Calar Alto 望远镜中的自适应光学系统采用的就是无调制工作模式的棱锥波前传感器。国外采用有调制工作模式棱锥波前传感器的自适应光学系统,传递函数测量过程和闭环控制过程中,棱锥波前传感器都工作在有调制工作模式下,而在闭环控制过程中,调制工作模式虽然增加了探测线性范围,但是却降低了棱锥波前传感器的探测灵敏度,同时由于闭环控制对探测帧频要求很高,因此对调制倾斜镜的频率要求更高,从而增加了系统的硬件复杂度;国外采用无调制工作模式棱锥波前传感器的自适应光学系统,传递函数测量过程和闭环控制过程中,棱锥波前传感器都工作在无调制工作模式下,但是由于无调制工作模式时棱锥波前传感器的探测线性范围非常小,因此在传递函数测量过程中受各种噪声和静态

像差的影响程度会加剧,甚至会导致传递函数测量出现错误。

[0003] 目前还未见采用有调制工作模式的棱锥波前传感器进行传递函数测量,而采用无调制工作模式的棱锥波前传感器进行闭环控制的自适应光学系统报道。

发明内容

[0004] 本发明解决的技术问题:克服现有棱锥波前传感器在传递函数矩阵测量和闭环控制过程中使用相同调制幅度的不足,提供一种基于有调制和无调制的组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统,该系统能够在传递函数测量过程中提高测量的线性范围和精确度,而在闭环控制过程中则能有效提高探测灵敏度,从而保证自适应光学系统在探测线性范围和灵敏度方面都有明显的改善。

[0005] 本发明技术的解决方案:一种基于有调制和无调制组合式棱锥波前传感器的自适应光学系统,包括:波前校正模块 1、分光模块 2、成像模块 3、棱锥波前传感器模块 4 和控制模块 5;其中棱锥波前传感器模块 4 由调制倾斜镜 6、聚焦器 7、棱锥 8、后继聚焦器 9 和探测器 10 组成;所述自适应光学系统闭环工作前需要对传递函数矩阵进行测量,以一束平行光入射到波前校正模块 1,然后经过分光模块 2 后一部分光入射到棱锥波前传感器模块 4,根据采用的闭环控制模式,在波前校正模块 1 上施加模式面形,此时通过控制调制倾斜镜 6 让棱锥波前传感器模块 4 工作在调制模式下,光束经过聚焦器 7 后聚焦在棱锥 8 的顶点上,经过棱锥 8 的分光作用后,光束继续传输通过后继聚焦器 9,然后成像在探测器 10 上,通过记录探测器 10 上的成像光斑即获得棱锥波前传感器模块 4 在该模式面形下对应的探测信号,随后继续依次施加下一个模式面形并依次记录有调制工作模式下棱锥波前传感器模块 4 对应的探测信号,当所有模式面形对应的探测信号都测量完成后,即获得了系统在该闭环控制模式下的传递函数矩阵;当目标光入射,所述自适应光学系统开始闭环控制工作时,此时将调制倾斜镜 6 的控制电压置零,即让棱锥波前传感器模块 4 工作在无调制模式下,目标入射光经过波前校正模块 1 和分光模块 2 后,一部分光入射到棱锥波前传感器模块 4,记录下棱锥波前传感器对应的探测信号,控制模块 5 根据该探测信号并结合已经测量得到的有调制工作模式时的传递函数矩阵进行运算处理,得到反馈控制信号,驱动波前校正模块 1 对波前误差进行闭环补偿校正,经过分光模块 2 的另一部分光入射到成像模块 3,实现对目标的闭环校正成像。

[0006] 所述的波前校正模块 1 由倾斜镜和变形镜组成,采用压电陶瓷驱动式结构、或 MEMS 结构、或液晶结构。

[0007] 所述的分光模块 2 为强度分光、或光谱分光,或偏振分光。

[0008] 所述的聚焦器 7 和后继聚焦器 9 为折射式聚焦器件、或反射式聚焦器件。

[0009] 所述的棱锥 8 为折射式棱锥或反射式棱锥。

[0010] 所述的探测器 10 为科学级 CCD 或科学级 CMOS。

[0011] 本发明与现有技术相比的优点在于:

[0012] (1) 本发明采用有调制工作模式的棱锥波前传感器进行自适应光学系统传递函数矩阵测量,由于传递函数的精确性和稳定性决定了系统闭环控制的特性,而有调制工作模式时,棱锥波前传感器的探测线性范围会明显提高,这样就可以保证传递函数的测量在线性范围内进行,既可以提高测量信噪比,又能够获得比较稳定的传递函数矩阵。

[0013] (2) 本发明采用无调制工作模式的棱锥波前传感器进行自适应光学系统闭环控制, 由于棱锥波前传感器在无调制工作模式时具有高的探测灵敏度, 因此闭环过程中能够保证系统具有高的探测灵敏度, 提高系统探测性能, 同时闭环过程中采用无调制工作模式会降低系统光路的复杂性。

[0014] (3) 本发明充分利用现有棱锥波前传感器设备, 无需额外增加光学器件。

[0015] (4) 本发明操作过程简单, 充分利用现有自适应光学系统的闭环控制方法, 无需其它复杂的运算过程。

附图说明

[0016] 图 1 为本发明整体结构示意图;

[0017] 图 2 为棱锥波前传感器结构示意图。

具体实施方式

[0018] 如图 1 所示, 本发明由波前校正模块 1、分光模块 2、成像模块 3、棱锥波前传感器模块 4、和控制模块 5 构成; 其中棱锥波前传感器模块如图 2 所示, 由调制倾斜镜 6、聚焦器 7、棱锥 8、后继聚焦器 9 和探测器 10 组成, 波前校正模块由倾斜镜和变形镜组成, 倾斜镜和变形镜可以采用压电陶瓷驱动结构、或 MEMS 结构、或液晶结构。

[0019] 光束经过棱锥波前传感器模块 4 后, 在探测器 10 上会对应四个探测子瞳像区域, 本实施例中每个子瞳像区域采样点数为 n ; 自适应光学系统闭环控制需要采用固定的闭环控制模式, 目前常用的有 Zernike 模式法、K-L 模式法、变形镜本征模式法、变形镜影响函数模式法(也称为直接斜率法), 本发明实施例中系统闭环控制模式采用的是 Zernike 模式法, 并且采用的是前 m 阶 Zernike 模式(第一阶为 X 方向整体倾斜模式, 第二阶为 Y 方向整体倾斜模式, 第三阶为离焦模式, 其它高阶模式与本领域公知的 Zernike 模式保持一致)。

[0020] 系统进行闭环控制工作前, 需要进行传递函数测量, 以获得系统的传递函数矩阵, 具体步骤如下: ①以一束平行光照射在波前校正模块 1 上, 并且波前校正模块 1 产生第一阶 Zernike 模式面形(本实施例中利用波前校正模块 1 中的倾斜镜产生表示 X 方向整体倾斜的第一阶 Zernike 模式面形和表示 Y 方向整体倾斜的第二阶 Zernike 模式面形, 利用波前校正模块 1 中的变形镜产生第三阶 Zernike 模式面形和其它高阶 Zernike 模式面形); ②经过分光模块 2 后一部分光入射到棱锥波前传感器模块 4, 其中分光模块 2 可以为强度分光、或光谱分光、或偏振分光, 通过控制调制倾斜镜 6 让棱锥波前传感器工作在有调制模式下, 光束在棱锥波前传感器模块 4 内会经过聚焦器 7 后聚焦在棱锥 8 的顶点上(其中聚焦器 7 可以为折射式聚焦器或者反射式聚焦器, 棱锥 8 可以为折射式棱锥或者反射式棱锥), 经过棱锥 8 的分光作用后, 光束继续传输通过后继聚焦器 9, 然后成像在探测器 10 上(其中聚焦器 9 可以为折射式聚焦器或者反射式聚焦器, 探测器 10 可以为科学级 CCD 或科学级 CMOS), 记录此时探测器 10 上的探测信号, 根据棱锥波前传感器的信号处理方法, 计算得到 $2n \times 1$ 的列响应信号; ③按照相同原理, 波前校正模块 1 依次产生第二阶、第三阶、……第 m 阶 Zernike 模式, 并且依次记录有调制工作模式情况下探测器 10 对应的列响应信号; ④对于 m 阶 Zernike 模式, 就可以得到一个 $2n \times m$ 的传递函数矩阵, 即测量得到了棱锥波前传感器在有调制工作模式下的传递函数矩阵。

[0021] 然后系统开始进行闭环控制,此时首先将调制倾斜镜 6 的输入信号置零,即让棱锥波前传感器工作在无调制模式下,目标光入射到波前校正模块 1 和分光模块 2,其中一部分光传输到棱锥波前传感器模块 4 后,记录下此时探测器 10 上的探测信号,根据棱锥波前传感器模块 4 的信号处理方法,可以从该探测信号中计算得到 $2n \times 1$ 的探测列信号,然后控制模块 5 会根据该 $2n \times 1$ 探测列信号和前面已经测量得到的 $2n \times m$ 传递函数矩阵进行运算处理,得到 $m \times 1$ 的校正信号,利用该校正信号驱动波前校正模块 1 对入射波面的像差进行补偿校正,波前校正模块 1 中的倾斜镜用来校正波前整体倾斜像差,波前校正模块 1 中的变形镜用来校正除波前整体倾斜之外的其它高阶像差,并且该过程不断闭环迭代下去;经过分光模块 2 的另外一束光在成像模块 3 上实现对目标进行自适应光学校正后的成像观测。

[0022] 本发明说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员公知的现有技术。

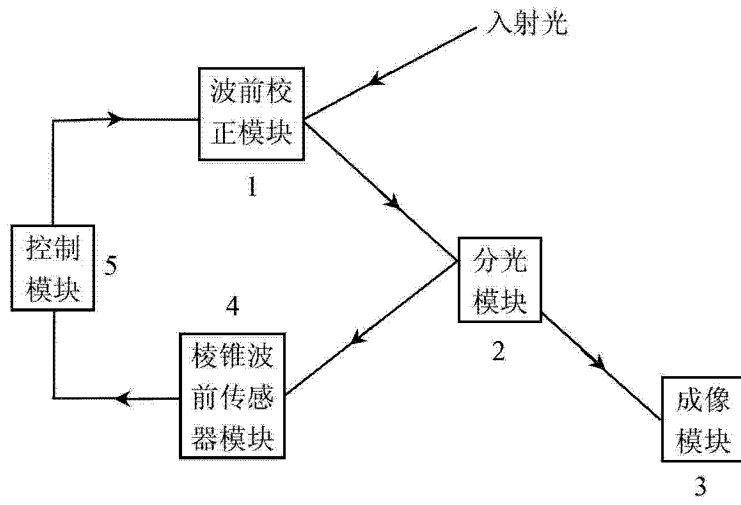


图 1

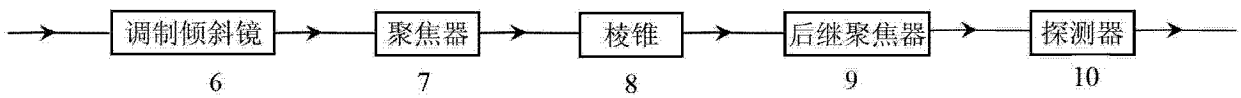


图 2