(19)中华人民共和国国家知识产权局



(12)发明专利



(10)授权公告号 CN 104198056 B (45)授权公告日 2017.07.07

- (21)申请号 201410499573.3
- (22)申请日 2014.09.25
- (65)同一申请的已公布的文献号 申请公布号 CN 104198056 A
- (43)申请公布日 2014.12.10
- (73)专利权人 中国科学院国家天文台南京天文 光学技术研究所

地址 210042 江苏省南京市板仓街188号

- (72)发明人 张勇 李烨平 王跃飞
- (74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207 代理人 张铂
- (51)Int.CI. *G01J 9/00*(2006.01)

(56)对比文件

- CN 102426061 A,2012.04.25,
- CN 104049353 A,2014.09.17,
- US 2014043599 A1,2014.02.13,
- CN 1245904 A,2000.03.01,
- CN 1971222 A,2007.05.30,
- CN 103033260 A,2013.04.10,

审查员 秦岳飞

权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种低对比度扩展源望远镜夏克哈特曼波 前传感器

(57)摘要

本发明提供了一种低对比度扩展源望远镜 夏克哈特曼波前传感器,包括准直镜、小透镜阵 列和离焦成像光电探测器,所述小透镜阵列位于 传感器前置光学系统的出瞳面上,准直镜位于小 透镜阵列前面实现光路准直,离焦成像光电探测 器位于小透镜阵列的焦面上,所述小透镜阵列的 透镜前方或后方设有小透镜的瞳孔遮挡阵列,或 者小透镜阵列为带有瞳孔遮挡的小透镜阵列。本 发明装配和调试极为方便,能大大改善太阳等低 对比度扩展源的波前测量精度,便于批量生产, 具有广泛的应用前景。

CN 104198056 B

1.一种低对比度扩展源望远镜夏克哈特曼波前传感器,包括准直镜、小透镜阵列和离 焦成像光电探测器,所述小透镜阵列位于传感器前置光学系统的出瞳面上,准直镜位于小 透镜阵列前面实现光路准直,离焦成像光电探测器位于小透镜阵列的焦面上,其特征在于 所述小透镜阵列的透镜前方或后方设有小透镜的瞳孔遮挡阵列,所述瞳孔遮挡的比例为小 透镜面积的50-90%。

2.一种低对比度扩展源望远镜夏克哈特曼波前传感器,包括准直镜、小透镜阵列和离 焦成像光电探测器,所述离焦成像光电探测器位于小透镜阵列的焦面上,其特征在于所述 小透镜阵列为瞳孔遮挡的小透镜阵列,所述瞳孔遮挡的比例为小透镜面积的50-90%。

3.如权利要求1或2所述的传感器,其特征在于所述低对比度扩展源为太阳、月亮或行星。

4. 如权利要求1或2所述的传感器,其特征在于所述瞳孔遮挡为呈圆形或多边形遮挡。

5.如权利要求1或2所述的传感器,其特征在于所述离焦成像光电探测器是在离焦位置 上安置的光电探测器或者安装有缩小系统的光电探测器。

6.一种低对比度扩展源望远镜夏克哈特曼波前测量方法,其特征在于将前置低对比度 扩展源望远镜焦点上的低对比度扩展源像置于准直镜的前焦点上,将小透镜阵列进行瞳孔 遮挡,置于前面光学系统的出瞳面上,利用离焦成像光电探测器在小透镜阵列的离焦的成 像像面上获得暗点阵列,通过图像亮暗倒转算法将暗点转换成亮点,在计算机内完成位置 的精确的亮点中心位置计算,并与理论的点阵位置比较后,执行波前重建,从而实现望远镜 的波前像质改正,实现高分辨成像,完成低对比度扩展源望远镜的夏克哈特曼波前测量,所 述瞳孔遮挡的比例为小透镜面积的50-90%。

7.如权利要求6所述的测量方法,其特征在于所述低对比度扩展源为太阳、月亮或行 星。

8. 如权利要求6所述的测量方法,其特征在于所述瞳孔遮挡为圆形或多边形遮挡。

一种低对比度扩展源望远镜夏克哈特曼波前传感器

技术领域

[0001] 本发明属于基于主动光学、自适应光学、光干涉等的低对比度扩展源高分辨成像 波前检测领域,具体涉及一种基于小透镜瞳孔遮挡的低对比度扩展源望远镜夏克哈特曼波 前传感器。

背景技术

[0002] 低对比度扩展源望远镜是一种专门观测诸如太阳等在内的低对比度扩展源的天 文望远镜,这与夜晚恒星望远镜的区别根本上在于观测目标源分别是低对比度扩展源和夜 间天文高对比度的目标,而为了实现望远镜的高分辨成像,无论主动光学还是自适应光学, 天文望远镜的波前传感器是不可或缺的核心部件,提供主动光学和自适应光学闭环校正的 反馈信号。比如,太阳作为一种高亮度的低对比度扩展观测目标源,其角直径约为32角分, 而且是太阳像上的扩展目标特征呈现低对比度,比如体现太阳活动的光球上的太阳黑子直 径大约是太阳的1/194(直径可达80000公里),亮度约3000至4500K,比光球温度5780K稍低, 看上去呈现一些深暗的斑点,而且太阳黑子是一种太阳活动,并不稳定呈现在太阳某个位 置,分布也很不均匀规律,在太阳表面横越移动时,其大小也会膨胀和收缩,而是成群出现 活动;此外表面米粒组织比太阳黑子对比度更低很多。因此对太阳等表面低对比度目标源 的波前探测是太阳望远镜主动光学或者自适应光学最具挑战性的技术。

[0003] 夏克哈特曼波前传感器,通过在望远镜等光学系统的焦后,通过选择合适的准直 镜、前置系统的出瞳位置上小透镜阵列、小透镜阵列焦面上可能需要的缩小系统和最终的 光电探测器等光电子元件,通过光电探测器上图像亮点阵位置的质心计算,重建出波前斜 率和波前,能够高精度地实时监测望远镜等聚焦光学系统的光学性能,并可以提供主动光 学或自适应光学等波前改正所需的各种反馈信号,因而在大量光学领域中获得非常广泛成 熟的应用。但目前的低对比度扩展源望远镜的波前传感器,主要是基于相关跟踪器原理的 低对比度扩展源波前夏克哈特曼波前传感器,利用小透镜阵列对低对比度扩展源的局部小 视场进行低对比度特征成像,通过低对比度扩展源上低对比度目标特征图像在小透镜阵列 的二维空间采样方向上的离散采样和基于相关波前处理机的互相关和绝对差分处理,而并 非常见的点阵质心偏移计算,获得低对比度特征的在瞳孔面上的每个采样位置上的相对偏 移,从而实现低对比度扩展源望远镜瞳孔波前的二维斜率分布计算,并为波前的积分重建 做好准备。现有技术下,因为特征图像对比度很低或者不是稳定存在,比如低对比度扩展源 的太阳黑子或其它太阳活动特征,其至没有合适对比度特征,无法确保实现高精度的夏克 哈特曼波前传感器的必需依赖的中央视场目标源的相关测量和反馈校正(图1为常见低对 比度扩展源自适应光学波前传感器低对比度目标阵列图像(以太阳为例,相关运算处理), 可以看出其信号对比度不好,只能采用图像相关匹配运算,像斑定位精度不高于0.1像素量 级;图2为常规天文望远镜点源夏克哈特曼波前传感器点阵图像(质心高精度计算和定位), 可以看出信号对比度非常高,像斑圆形对称,系统灵敏度很高,基于求质心的像斑定位精度 高达0.01像素:波前传感器检测精度决定并正比于像斑定位精度,对比可见低对比度扩展

源波前传感器的高精度像斑定位精度,远低于传统点源望远镜波前传感器的像斑定位精度,因而具有很大的必要性和需求,要求更进一步地发展和提高)。

发明内容

[0004] 本发明针对现有技术不足,提供了一种基于小透镜瞳孔遮挡的低对比度扩展源望 远镜夏克哈特曼波前传感器,能克服现有技术精度低、抗干扰能力低等不足,利用全部小透 镜的瞳孔遮挡并在小透镜阵列的汇聚光路的离焦像面上成像即可实现太阳望远镜波前测 量,免除了低对比度特征目标选择的困难和低对比度目标特征的相关测量的低精度,除了 全部透镜阵列的小透镜上的瞳孔遮挡外,无需在望远镜主光路和波前传感器光路上添加任 何其它元件,结构非常简单、使用非常方便、成本也非常低,最重要的就是不再依赖于局部 视场中的特征图像,而且实时测量及其精度均有了极大的提高和保证、便于批量生产。

[0005] 本发明提供了一种低对比度扩展源望远镜夏克哈特曼波前测量方法,将前置低对 比度扩展源望远镜焦点上的低对比度扩展源像置于准直镜的前焦点上,将小透镜阵列进行 瞳孔遮挡,置于前面光学系统的出瞳面上,利用离焦成像光电探测器在小透镜阵列的离焦 的成像像面上获得暗点点阵,通过图像亮暗倒转算法将暗点转换成亮点,在计算机内完成 位置的精确的亮点中心位置计算,并与理论的点阵位置比较后,执行波前重建,从而实现望 远镜的波前像质改正,实现高分辨成像,完成低对比度扩展源望远镜的夏克哈特曼波前测 量。

[0006] 本发明的工作原理是:低对比度扩展源望远镜与其它望远镜或者光学系统类似, 在离焦足够多的位置上成像为瞳孔像,其瞳孔像的重心仍然能代表望远镜的指向或者跟踪 目标的位置。而通过在小透镜阵列(对应光学系统的出瞳位置)的每个小透镜上增加足够遮 挡比例的瞳孔遮挡,瞳孔遮挡的位置,尽可能靠近透镜阵列,前后放置甚至完全与透镜阵列 加工成一个整体都可以,在合适的离焦位置上得到的应该是中心有亮暗过渡区和暗点的瞳 孔加遮挡的像结构的点阵(类似小透镜列的瞳孔像),这个中心暗点,与常规望远镜的夏克 哈特曼波前传感器的点阵亮点正好相似,与望远镜的光学入瞳孔面上的斜率分布直接相 关,可以被用来在相机上采集获取,并通过图像亮暗倒转算法将暗点转换成亮点,在计算机 内完成位置的精确的亮点中心位置计算,并与理论的点阵位置比较后,执行波前重建,从而 实现望远镜的波前像质改正,并最终实现高分辨成像。其中合适的离焦位置选择,应该选择 在黑区、渐晕区、明亮区中的从光轴上渐晕区刚刚进入黑区的地方,明亮区是扩展目标成像 充分的地区,成像得到的是一个亮区域,减晕区是视场光线受到部分遮挡,成像不均匀的地 区,内暗外亮的区域,而黑区则是光轴上成像因为完全遮挡而完全没有光线的区域。

[0007] 上述方法中,本领域技术人员可以根据需要对本发明所述夏克哈特曼传感器的各 个光学部件参数进行设计调整以满足不同望远镜系统的需求,例如,由于低对比度扩展源 望远镜观测的是扩展目标,需要更多的离焦量,方可实现上述波前传感器中所需实现的中 心暗区;而同时为了不影响波前传感器的精度或者灵敏度,通常需要选择更长的小透镜阵 列焦距,从而保证在离焦位置上仍然获得各种常规望远镜波前传感器的一样的高精度波前 测量;最终的离焦位置可以与传统的波前传感器的焦距一样。此外,瞳孔遮挡的大小选择, 正好可以调节波前传感器相机上低对比度源光强的强弱和选择确定的离焦位置,获得高对 比度的中央暗区或阴影区的成像,供波前传感器检测和校正;为了在波前传感器相机上选

择合适的成像暗点或亮暗过渡区的大小,可以通过几何光学简便地优化选择不同的离焦位 置来获得。

[0008] 本发明还提供了一种低对比度扩展源望远镜夏克哈特曼波前传感器,包括准直镜、小透镜阵列和离焦成像光电探测器,所述小透镜阵列位于光学系统的出瞳面上,离焦成像光电探测器位于小透镜阵列的焦面上,小透镜阵列的透镜前方或后方设有小透镜的瞳孔 遮挡阵列。

[0009] 上述小透镜的瞳孔遮挡阵列的位置通常靠近小透镜阵列放置。本领域技术人员可以根据不同的需要或者加工难易程度将小透镜阵列和小透镜的瞳孔遮挡阵列在物理空间 上很接近的分立形式或者将两者整体组合。瞳孔遮挡实现方法可以是单个瞳孔遮挡与小透 镜阵列中的小透镜分别一一对应处理实现,也可以以整体形式的瞳孔遮挡阵列对准小透镜 阵列,或者直接使用带有瞳孔遮挡的小透镜阵列。

[0010] 本发明另一个方案中,可以将小透镜阵列直接设计为带有瞳孔遮挡的小透镜阵 列,小透镜的前表面或后表面贴附有遮挡材料,也可以使用瞳孔部分为不透光材质的复合 型小透镜阵列,上述几种情况仅为带有瞳孔遮挡的小透镜阵列的举例说明,不视为对本发 明的限定。

[0011] 上述技术方案中,具体的透镜阵列的设计、瞳孔遮挡的比例,可以由几何光学简单 方便的计算获得;对应不同的透镜阵列的透镜形状,瞳孔遮挡可以为任意对称形状,优选圆 形或多边形(可以是正多边形或中心对称的多边形),比如圆形、六边形、正方形或长方形, 优先选择中心对称形状的圆形遮挡。优选透镜被瞳孔遮挡的遮挡位置在透镜的中心位置, 常见的瞳孔遮挡比例在50~90%之间,优选80%;如果比例过低,虽然挡光很少,但离焦位置会 更远;而如果太高,虽然离焦位置很近,但挡光太多。上述带有瞳孔遮挡的小透镜阵列优选 瞳孔遮挡比例为小透镜口径中心几何尺寸的50-90%,优选80%。

[0012] 本发明所述低对比度扩展源为太阳、月亮或行星。

[0013] 上述离焦成像光电探测器可以是离焦位置上安置的光电探测器或者安装有缩小系统的光电探测器。

[0014] 为了保持在离焦位置上测量的灵敏度,可以尽量保证离焦成像光电探测器的位置 距离小透镜阵列的距离接近常规夏克哈特曼波前传感器设计中的小透镜阵列焦距,对应增 加小透镜阵列的焦距,对于本领域技术人员来说,增加小透镜阵列的焦距和曲率半径,在光 学加工检测上是很容易实现和获得的。

[0015] 本发明的优点:

[0016] 克服的现有技术精度低、抗干扰能力差、或成本高昂、检测、安装调整困难等等不足,利用基于小透镜瞳孔遮挡的低对比度扩展源望远镜夏克哈特曼传感器方法,装配和调试极为方便,能大大改善太阳等低对比度扩展源的波前测量精度,传统的低对比度扩展源的夏克哈特曼波前传感器,通过相关跟踪器原理,采用两图像不同步长的迭代匹配算法,图像偏移定位精度在0.1像素量级,而且迭代计算复杂耗时,而本发明通过对称的圆点斑的质心定位算法精度高达0.01像素或者更高,求质心计算非常简便。同时本发明结构简单,制作和装配容易,成本低,最重要的就是不再依赖于局部视场中的特征图像,而且实时测量及其精度均有了极大的提高和保证、便于批量生产,具有广泛的应用前景。

附图说明

[0017] 图1 常见低对比度扩展源自适应光学波前传感器低对比度目标阵列图像。

[0018] 图2 常规天文望远镜点源夏克哈特曼波前传感器点阵图像。

[0019] 图3为本发明实施例1所述的基于小透镜瞳孔遮挡的低对比度扩展源望远镜夏克 哈特曼波前传感器的结构示意图(其中,1.前置低对比度扩展源望远镜焦点上的低对比度 扩展源像、2.准直镜、3.小透镜的瞳孔遮挡阵列、4.小透镜阵列、5.离焦成像光电探测 器)。

[0020] 图4为单个小透镜及其瞳孔遮挡组成的光学单元(其中,6.单个小透镜的瞳孔遮 挡、7.单个小透镜、8.小透镜(阵列)的焦点、9.黑区、10.渐晕区、11.明亮区、12.离焦 成像光电探测器位置)。

[0021] 图5为单个小透镜及其瞳孔遮挡组成的光学单元在光电探测器上成暗点像13。

[0022] 图6为本发明在夏克哈特曼波前传感器上获取点阵示意图(左图为直接获得的暗点点阵示意图,右图为使用图像亮暗倒转算法将暗点转换成亮点得到的亮点点阵示意图)。

具体实施方式

[0023] 以下通过实施例说明本发明的具体步骤,但不受实施例限制。

[0024] 在本发明中所使用的术语,除非另有说明,一般具有本领域普通技术人员通常理解的含义。

[0025] 下面结合具体实施例并参照数据进一步详细描述本发明。应理解,这些实施例只 是为了举例说明本发明,而非以任何方式限制本发明的范围。

[0026] 在以下实施例中,未详细描述的各种过程和方法是本领域中公知的常规方法。

[0027] 实施例1

[0028] 一种基于小透镜瞳孔遮挡的低对比度扩展源望远镜夏克哈特曼波前传感器,如图 3所示,包括准直镜2、小透镜阵列4和离焦成像光电探测器5,所述小透镜阵列4位于光学系 统的出瞳面上,离焦成像光电探测器5位于小透镜阵列4的焦面上,小透镜阵列的透镜前方 设有小透镜的瞳孔遮挡阵列3。瞳孔遮挡为中心对称形状的圆形遮挡;瞳孔遮挡的比例为小 透镜口径中心几何尺寸的的50-90%。图4为单个小透镜7及其瞳孔遮挡6组成的光学单元,其 中,6为单个小透镜的瞳孔遮挡、7为单个小透镜、8为小透镜(阵列)的焦点、9为黑区、10为渐 晕区、11为明亮区、12为离焦成像光电探测器位置、13为光电探测器上成暗点像。

[0029] 本发明述夏克哈特曼波前传感器的另一个方案,可以将瞳孔遮挡阵列3接近放置 在小透镜阵列4的后方。

[0030] 本发明所述夏克哈特曼波前传感器的另一个方案,可以将上述方案中的小透镜的 瞳孔遮挡阵列3和小透镜阵列4变形为整体的瞳孔遮挡的小透镜阵列,小透镜的前表面或后 表面贴附有遮挡材料,或者使用瞳孔部分为不透光材质的复合型小透镜阵列。

[0031] 在进行低对比度扩展源望远镜夏克哈特曼波前测量时,将前置低对比度扩展源望远镜焦点上低对比度扩展源像1位于夏克哈特曼波前传感器的准直镜2的前焦点上,瞳孔遮挡阵列3可以接近放置在小透镜阵列4的前方或者后方,也可以使用直接组合在一起并位于前面光学系统的出瞳面上,离焦成像光电探测器5可以直接是光电探测器或者安装有缩小

系统的光电探测器。对于单个小透镜7及其瞳孔遮挡6组成的光学单元而言,因为像为扩展 目标,可以在离焦位置12上获得有高对比度的暗点像13,该暗点像由外往内分别为亮区、亮 暗过渡区、暗点组成;全部暗点像组成暗点点阵,利用计算机采集设备采集成像面上的暗点 点阵图像,通过图像亮暗倒转算法将暗点转换成亮点,如图5所示,为之后夏克哈特曼传感 器波前斜率和波前实时重建采用,夏克哈特曼波前传感器重建的波前被用来作为波前改正 的反馈,进行低对比度扩展源主动光学、自适应光学或光干涉的闭环控制流程。











图3



图4



图5



图6