



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103558684 B

(45) 授权公告日 2016. 05. 25

(21) 申请号 201310302110. 9

CN 101038341 A, 2007. 09. 19,

(22) 申请日 2013. 07. 18

Yong Zhang 等. An experimental indoor phasing system based on active optics. 《Research in Astron. Astrophys. 》. 2011, 第11卷 (第9期), 全文.

(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

王海涛. 光学综合孔径干涉成像技术. 《光学精密工程》. 2002, 第10卷 (第5期), 全文.

(72) 发明人 张勇 李烨平

审查员 程浩

(74) 专利代理机构 江苏致邦律师事务所 32230
代理人 樊文红

(51) Int. Cl.

G02B 23/00(2006. 01)

G02B 23/12(2006. 01)

G02B 27/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101187585 A, 2008. 05. 28,

US 6226121 B1, 2001. 05. 01,

CN 101299067 A, 2008. 11. 05,

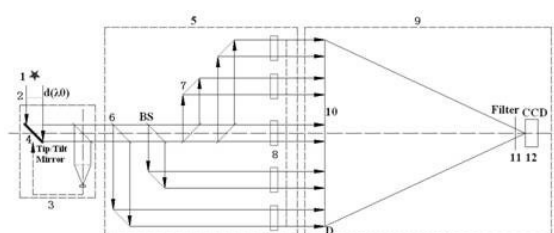
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

基于亮源的综合孔径高分辨成像望远镜装置

(57) 摘要

一种基于亮源的综合孔径高分辨成像望远镜装置, 由口径 d 与当时台址视宁度大小匹配的接受光瞳、综合孔径光学成像系统和主镜口径为 D 的望远镜成像系统组成; 综合孔径光学成像系统中设有稀疏孔径阵列和延迟线补偿器, 稀疏孔径阵列包含若干多级二维空间分布的若干口径为 d 的子镜, 子镜包括分光镜、透射镜和平面反射镜, 在各子镜的输出光路上分别设有所述延迟线补偿器; 若干子镜通过按能量比例的多级分光排列, 在焦平面上获得近完备的即时 UV 平面覆盖, 延迟线补偿器补偿各口径的光程差, 获得稀疏孔径阵列最长基线 D 上的出射衍射极限波前, 输出至主镜口径为 D 的望远镜成像系统。本发明造价低廉, 系统简单, 能实时地获得高时间和空间分辨衍射极限成像。



1. 一种基于亮源的综合孔径高分辨成像望远镜装置,其特征是,该装置由口径 d 与当时台址视宁度大小匹配的接受光瞳、综合孔径光学成像系统和主镜口径为 D 的望远镜成像系统组成;所述综合孔径光学成像系统中设有稀疏孔径阵列和延迟线补偿器,所述稀疏孔径阵列包含若干多级二维空间分布的若干口径为 d 的子镜,子镜包括分光镜、透射镜和平面反射镜,在各子镜的输出光路上分别设有所述延迟线补偿器;若干子镜通过按能量比例的多级分光排列,在焦平面上获得近完备的即时 UV 平面覆盖,延迟线补偿器补偿各口径的光程差,获得稀疏孔径阵列最长基线 D 上的出射衍射极限波前,并输出至所述主镜口径为 D 的望远镜成像系统;所述主镜口径为 D 的望远镜成像系统选择波段,获得口径 D 上的高时间和空间分辨衍射极限成像。

2. 根据权利要求 1 所述的综合孔径高分辨成像望远镜装置,其特征是,所述接受光瞳和综合孔径光学成像系统之间还设有高速稳像闭环系统,用于实时消除线性倾斜,输出接近平面的衍射极限波前。

3. 根据权利要求 2 所述的综合孔径高分辨成像望远镜装置,其特征是,所述高速稳像闭环系统为高速 Tip/Tilt Mirror 线性自适应光学系统,由 Tip/Tilt Mirror 系统和稳像控制系统组成。

4. 根据权利要求 1 所述的综合孔径高分辨成像望远镜装置,其特征是,所述主镜口径为 D 的望远镜成像系统包含口径为 D 的主镜、滤光片和科学探测器。

基于亮源的综合孔径高分辨成像望远镜装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于亮源的综合孔径高分辨成像望远镜装置,特别是一种免于复杂变形镜自适应光学的高时间和空间分辨衍射极限成像装置。

背景技术

[0002] 最大限度地提高天文望远镜的空间分辨能力以便更好地观测天体的形状和结构细节上天文学家的梦想和天文仪器专家追求的目标。

[0003] 根据瑞利判据,望远镜的分辨率为 $R=1.22 \lambda / D$, 其中 D 为入瞳直径,观测波长 λ 越长, D 越大,望远镜的分辨本领也就越高。

[0004] 故欲提高分辨率势必增大望远镜的口径,望远镜口径不可能无止境地做大,一方面是技术和造价问题,另一方面上大气扰动影响望远镜的分辨率,望远镜的分辨率与当地的视宁度有关。

[0005] 对于大口径望远镜而言,限制其分辨率能力的因素从通光口径转为大气相干长度与大气相关时间。因为大气团内外尺度变化具有复杂的非平稳随机过程的性质,天体发出的光经过大气层时受到畸变,最终使得望远镜实际角分辨率无法突破大气宁静度的限制。

[0006] 也就是说当望远镜的口径 D 大于 50cm 时,它的理论分辨率是 $1.22 \lambda / D$,但实际分辨率如不采用特殊方法的话就不可能超过当地的视宁度 $r_0(\lambda)$ 决定的分辨率 $\lambda / r_0(\lambda)$ 。

[0007] 提高望远镜实际分辨率的方法有两种:使用光干涉的办法和自适应光学的办法。其中自适应的办法能达到的极限是单个望远镜的理论分辨率。自适应光学技术目前已经越来越复杂,包括复杂精密波前检测器、巨型变形镜、超高速闭环控制、多激光引导星、多共轭、激光发射望远镜、观测波段、等晕角、系统复杂和冗余、时间频率和空间频率等等,费用越来越昂贵,而且当前主要成熟于近红外衍射极限,因此高分辨成像目前遭遇到了严重的发展瓶颈。而光干涉方面,两个望远镜之间基线越长,空间分辨率越高,基线的长度可以不受单个望远镜口径大小的限制。

[0008] 把光干涉技术与天文望远镜结合来提高望远镜的空间分辨率的办法是高分辨率天文观测的主要方法。

[0009] 传统意义上的光学综合孔径望远镜以长基线恒星光干涉为基础,因为子望远镜基线长,所以空间分辨率高,但基线(空间频率)数量少,不完备,所以不能瞬时直接成像,需要将基线(利用地球自转或瞳面旋转),使空间频率完备,从而实现图像重构,时间分辨率低。

[0010] 光学稀疏孔径阵列上利用多个小孔径或光学系统按照一定方式进行排列,通过子镜的光束经过相位补偿和调整,相干叠加到焦平面上。子镜对等效主镜范围进行部分填充,通光面积虽比等效单孔径小,但是能获得与等效单孔径系统相当的空间分辨率。这就突破了大口径光学系统的加工工艺、制造成本和体积重量的限制,使光学系统达到等效大口径的分辨率成为可能。

发明内容

[0011] 本发明的技术问题:克服现有的各种高分辨成像技术的不足,提出一种基于亮源的综合孔径高分辨成像望远镜装置,通过对光源信号的复制,使光束形成 UV 覆盖优化的稀疏综合孔径阵列,克服长基线上的大气湍流的严重干扰,以获得与长基线匹配的后置望远镜的高时间和空间分辨成像性能。

[0012] 本发明的技术方案是:一种基于亮源的综合孔径高分辨成像望远镜装置,由口径 $d(\lambda_0)$ 与当时台址视宁度大小匹配的接受光瞳、综合孔径光学成像系统和主镜口径为 D 的望远镜成像系统组成;所述综合孔径光学成像系统中设有稀疏孔径阵列和延迟线补偿器,所述稀疏孔径阵列包含若干多级二维空间分布的若干口径为 $d(\lambda_0)$ 的子镜,子镜包括分光镜、透射镜和平面反射镜,在各子镜的输出光路上分别设有所述延迟线补偿器;若干子镜通过按能量比例的多级分光排列,在焦平面上获得近完备的即时 UV 平面覆盖,延迟线补偿器补偿各口径的光程差,获得稀疏孔径阵列最长基线 D 上的出射衍射极限波前,并输出至所述主镜口径为 D 的望远镜成像系统;所述主镜口径为 D 的望远镜成像系统选择波段,获得口径 D 上的高时间和空间分辨衍射极限成像。

[0013] 上述技术方案中, λ_0 为台址视宁度 r_0 的测量用波长,其它任意波长 λ 所对应的视宁度 $r_0(\lambda)$ 可以由 $r_0(\lambda_0)$ 和 λ 直接换算获得。

[0014] 综合孔径光学成像系统,是对多个小口径的光学元件或光学系统进行精确的排列和调整,使通过各个子镜的光束在焦平面上满足同相位条件,实现干涉成像,从而达到与其通光口径相当的单一大口径系统的衍射极限分辨率。基线较短(相对子镜直径),能瞬时成像的由相对数目较少的子镜构成的阵列,称之为稀疏孔径阵列。光学稀疏孔径阵列经过对子镜数量、大小及相对位置的设计和优化,可以获得空间频率的相对完备,能瞬时成像,时间分辨率高。上述技术方案中所述稀疏孔径阵列为即时 UV 平面覆盖的阵列。

[0015] 作为本发明的进一步改进,所述接受光瞳和综合孔径光学成像系统之间还设有高速稳像闭环系统,用于实时消除线性倾斜,输出接近平面的衍射极限波前。

[0016] 作为本发明的进一步改进,所述高速稳像闭环系统为高速 Tip/Tilt Mirror 线性自适应光学系统,由 Tip/Tilt Mirror 系统和稳像控制系统组成。

[0017] 作为本发明的进一步改进,所述稀疏孔径阵列的最长基线为 D ,所述主镜口径为 D 的望远镜成像系统包含口径为 D 的主镜、滤光片和科学探测器。

[0018] 亮源天体发出的光经过接受口径为 $d(\lambda_0)$ 的光瞳后,通过高速稳像闭环系统实时扣除线性倾斜后,输出与台址视宁度相当的、口径 $d(\lambda_0)$ 上的、接近平面的衍射极限波前至所述稀疏综合孔径阵列系统,所述稀疏综合孔径阵列系统对所述衍射极限波进行多级的、二维空间方向上的阵列复制,形成阵列单元能量一致、UV 平面覆盖优化的稀疏综合孔径阵列,然后通过延迟线补偿阵列补偿不同矩阵单元的波前延迟,最终到达主镜口径为 D 的望远镜成像系统,获得口径 D 上的高时间和空间分辨衍射极限成像,对应波段为 $\lambda \geq \lambda_0$ 。

[0019] 本发明的工作原理是:从观测亮源目标发出来的光束,经过与台址视宁度大小匹配的接受光瞳 $d(\lambda_0)$ 上,先通过高速稳像闭环系统校正线性倾斜误差,获得接受光瞳 $d(\lambda_0)$ 尺度上的衍射极限波前,通过一定能量比例的多级分光,形成 UV 覆盖优化的稀疏孔径阵列(最长基线为 D),辅助以延迟线改正阵列,以补偿不同阵列单元的波前延迟,从而获得综合孔径阵列长基线 D 上的出射衍射极限波前,最后通过主镜口径为 D 的望远镜成像系统的选择(波段为 $\lambda \geq \lambda_0$),获得口径 D 上的高时间和空间分辨衍射极限成像。

[0020] 本发明与现有技术相比有如下优点：

[0021] (1) 本发明打破了常规自适应光学、空间望远镜、斑点干涉术的复杂、实时性、波段等发展瓶颈，提出了一种新的基于亮源的高分辨成像系统，应用主动光学的延迟线技术，能够造价低廉，系统相对简单、实时地获得针对亮源观测的高时间和空间分辨衍射极限成像。

[0022] (2) 本发明结合综合孔径技术和快速倾斜 Tip/Tilt Mirror 镜技术，基本上可以实现任意长基线的稀疏综合孔径，实现高时间和空间分辨成像。

[0023] (3) 本发明把复杂实现的自适应光学系统，用低时间频率的主动光学延迟线技术和成熟的高速 Tip/Tilt Mirror 技术来代替，以实现全部阵列单元的主动光学共相，基本上克服了台址大气湍流的影响，从而造价低廉、系统实施工艺简单、实时性高、维护容易、可行性极高。

[0024] (4) 本发明能实现：类似太阳、月亮等亮源的天文观测以及白天或照明足够情况下的高时间和空间分辨成像观测，甚至可以进一步实现高时间和空间分辨光谱光测。

[0025] 综上所述，本发明可以很好的克服台址大气视宁度的影响，从而获得亮源的衍射极限观测，从而大大扩展了高时间和空间分辨成像在天文、军事、空间对地、安全以及国民经济生活中的应用范围。

附图说明

[0026] 图 1 为本发明实施例 1 的基于亮源的综合孔径高分辨成像望远镜装置示意图。

[0027] 图 2 为本发明实施例 1 综合孔径阵列系统输出至望远镜成像系统的主镜上的光束。

具体实施方式

[0028] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白，以下结合具体实施例，并参照附图，对本发明进一步详细说明。

[0029] 如图 1 所示，基于亮源的综合孔径高分辨成像望远镜装置，由口径 $d(\lambda_0)$ 与当前台址视宁度大小匹配的接受光瞳 2、高速稳像闭环系统 3、稀疏综合孔径阵列系统 5 和主镜口径为 D 的望远镜成像系统 9 组成。

[0030] 高速稳像控制系统 3 为高速 Tip/Tilt Mirror 线性自适应光学系统，由 Tip/Tilt Mirror 系统 4 和稳像控制系统组成。综合孔径阵列系统 5 包含多级二维空间分布的透射镜 6、分光镜 BS (Beam Splitter) 和平面反射镜 7 以及延迟线补偿器 8，以输出二维分布的长基线 D 下的即时 UV 覆盖优化的光束至望远镜成像系统 9，望远镜成像系统 9 包含口径为 D 的主镜 10、滤光片 11 和科学探测器 12。

[0031] 来自亮源目标 1 的光线，被与台址视宁度匹配的接受光瞳 2 接受，此时接受的光学波前在经过基于口径 $d(\lambda_0)$ 上的快速 Tip/Tilt Mirror 及稳像控制系统 3 实时扣除线性倾斜后，达到该 λ_0 以上波段的光学衍射极限（在口径 $d(\lambda_0)$ 上）；通过按一定比例分光的空间复制形式的综合孔径阵列系统 5，对前述所得口径 $d(\lambda_0)$ 上的衍射极限波前的单元进行二维空间方向上的阵列复制，使获得的稀疏孔径阵列各单元有一致的能量，并且该阵列满足空间 UV 覆盖优化的原则，为了校正各阵列单元的不同波前延迟，利用延迟线阵列 8 对整个稀疏孔径阵列进行共相位补偿校正，从而获得与后置望远镜成像系统 9 一致的、在长

基线 D 上的衍射极限波前, 光束在主镜 10 上的排列如图 2 所示, 圆周直径为 D , 各光束的直径为 $d(\lambda_0)$, λ_0 可以根据观测要求和视宁度适当选取。光束经过主镜 10 后会聚在滤光片 11 之后的科学探测器 12 上, 从而后置望远镜系统可以实时获得高分辨性能, 包括时间分辨和空间分辨。

[0032] 本发明未详细阐述的属于本领域公知技术。

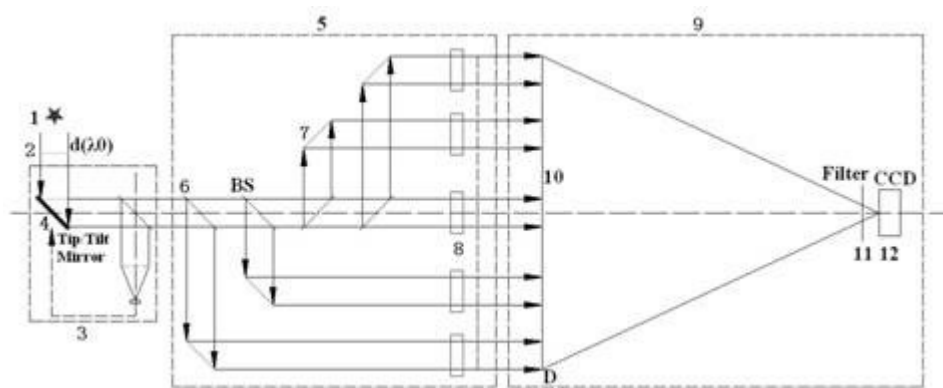


图 1

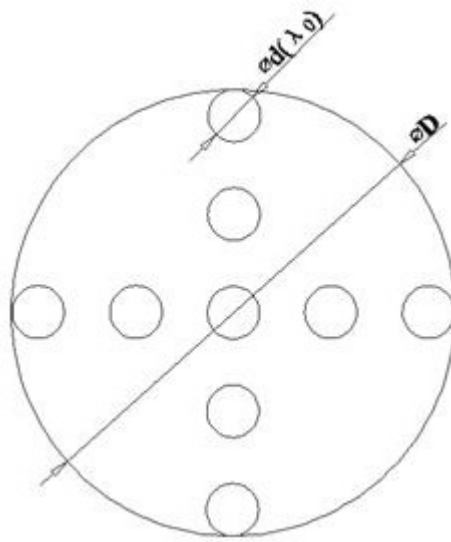


图 2