

一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机

申请号：[201210134968.4](#)

申请日：2012-05-03

申请(专利权)人 [中国科学院长春光学精密机械与物理研究所](#)

地址 [130033 吉林省长春市东南湖大路3888号](#)

发明(设计)人 [王建立](#) [王斌](#) [刘莹奇](#) [汪宗洋](#) [赵金宇](#)

主分类号 [G02B27/00\(2006.01\)I](#)

分类号 [G02B27/00\(2006.01\)I](#) [H04N5/232\(2006.01\)I](#)

公开(公告)号 [102662238A](#)

公开(公告)日 [2012-09-12](#)

专利代理机构 [长春菁华专利商标代理事务所 22210](#)

代理人 [张伟](#)



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102662238 B

(45) 授权公告日 2014. 01. 15

(21) 申请号 201210134968. 4

审查员 张宾

(22) 申请日 2012. 05. 03

(73) 专利权人 中国科学院长春光学精密机械与
物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路
3888 号

(72) 发明人 王建立 王斌 刘莹奇 汪宗洋
赵金字

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务
所 22210

代理人 张伟

(51) Int. Cl.

G02B 27/00 (2006. 01)

H04N 5/232 (2006. 01)

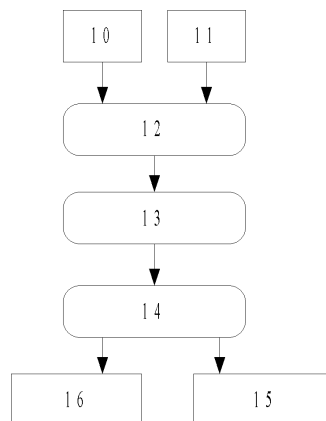
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学
相机

(57) 摘要

一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机属于空间光学获取领域, 该相机包括: 空间相机光学系统与相位差异波前探测。空间相机光学系统是卡塞格林、同轴三反和离轴三反等光学系统形式。相位差异波前探测单元包括: 在焦多级拼接探测器、离焦多级拼接探测器、在焦探测器接口、离焦探测器接口、数据采集模块、数据预处理模块、计算模块、存储模块和控制接口; 本发明无需额外增加高精度波前测量装置, 能够降低高性能空间光学系统对设计、结构、热控等方面的要求, 实现空间光学系统的高精度在轨诊断和补偿成像。



1. 一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机,该相机包括空间相机光学系统,其特征在于,该相机还包括相位差异波前探测单元;该相位差异波前探测单元包括:在焦多级拼接探测器(8)、离焦多级拼接探测器(9)、在焦探测器接口(10)、离焦探测器接口(11)、数据采集模块(12)、数据预处理模块(13)、计算模块(14)、存储模块(15)和控制接口(16);

地面景物经过空间相机光学系统成像在在焦多级拼接探测器(8)和离焦多级拼接探测器(9)上,在数据采集模块(12)的控制下,在焦探测器接口(10)和离焦探测器接口(11)分别从在焦多级拼接探测器(8)和离焦多级拼接探测器(9)同时采集地面景物信息,由数据采集模块(12)将两组采集的信息整合成一帧数据发送到数据预处理模块(13),数据预处理模块(13)将预处理的子图像发送给计算模块(14),计算模块(14)把得到的目标恢复图像和波前畸变信息发送给存储模块(15)和控制接口(16),控制接口(16)通过波前畸变信息对光学相机的离焦像差进行补偿。

2. 如权利要求1所述的一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机,其特征在于,所述在焦多级拼接探测器(8)和离焦多级拼接探测器(9)固定在一个阶梯面上,阶梯的高度差为定值。

3. 如权利要求1所述的一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机,其特征在于,所述在焦多级拼接探测器(8)和离焦多级拼接探测器(9)采集信息的离焦量为地面景物对应波前PV值的 $1 \sim 1.5\lambda$,其中, λ 为对应波长。

4. 如权利要求1所述的一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机,其特征在于,所述计算模块(14)包括数学最优化搜索引擎和代价函数计算部分。

5. 如权利要求4所述的一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机,其特征在于,所述数学最优化搜索引擎包含搜索引擎初始化和搜索引擎的主体两部分。

6. 如权利要求1或4或5所述的一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机,其特征在于,所述计算模块(14)工作方法如下:

步骤一:计算模块(14)接收数据预处理模块(13)传送的数据后,一部分数据经过数学最优化搜索引擎初始化转化为频域数据,把未知量的波前值设为0;

步骤二:计算模块(14)接收数据预处理模块(13)传送的另一部分数据进入代价函数计算部分,代价函数计算部分首先根据波前值设定值和进入代价函数计算部分

的数据,再结合公式 $Fimg = \frac{\sum_{c=1}^C \sigma_c^{-2} D_c S_c^*}{\gamma + \sum_{c=1}^C \sigma_c^{-2} |S_c|^2}$ 来估计目标理想图像的期望,并用公式

$L(\{\alpha\}) = \frac{1}{2N} \sum_u \left(\sum_{c=1}^C \sigma_c^{-2} |D_c|^2 - \frac{\left| \sum_{c=1}^C \sigma_c^{-2} D_c S_c^* \right|^2}{\gamma + \sum_{c=1}^C \sigma_c^{-2} |S_c|^2} \right)$ 对这个期望进行评价得到代价函数值,并求

出代价函数对波前各项泽尼克多项式的值的偏导数,其中u表示频域坐标,C表示使用的通

道数 ; N 表示单幅图像的像素总数 ; σ_c^{-2} 为通道 c 的噪声读出方差的倒数 ; $D_c = \mathcal{F}(d_c)$, 式中 d_c 表示第 c 通道采集到的图像 ; $\mathcal{F}$ 为傅里叶变换, γ 表示非负的正则项系数 ; $\{\alpha\}$ 表示需要求解的泽尼克 (zernike) 系数 ; S_c 表示通道 c 的光学传递函数 ;

步骤三 : 用步骤二中求得的代价函数值和偏导数值通过 LBFGS (The limited memory variation of the Broyden - Fletcher - Goldfarb - Shanno (BFGS)) 算法来调整作为未知量的波前值 ;

步骤四 : 根据目标理想图像期望的代价函数值和目标理想图像期望的代价函数对波前各项泽尼克多项式值的偏导数, 判断是否满足退出条件, 如果满足, 计算模块 (14) 把得到目标恢复图像和波前畸变信息发送给存储模块 (15), 否则重复步骤二。

7. 如权利要求 6 所述的一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机, 其特征在于, 所述步骤四中的退出条件为 : 算法迭代次数大于 1000 次, 或目标函数值在 10 次迭代中的下降总和小于 10^{-15} , 或各项偏导值小于 10^{-15} 中的任意一项。

一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机

技术领域

[0001] 本发明属于空间光学获取领域,特别涉及一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机。

背景技术

[0002] 空间光学系统由于卫星发射时的冲击、过载、振动、热环境的变化、微重力环境及大气湍流影响使波面产生畸变,导致光学成像系统成像质量下降。尤其是对未来更高性能的空间相机,随着系统口径及焦距的增加,相应的对轻量化要求也越来越高,各反射镜在轨位置误差也将进一步增大。如果继续采用传统的无诊断和补偿功能的被动光学成像,会使设计分辨率和使用成像分辨率之间差距进一步增大。

[0003] 现有的空间相机光学系统主要是卡塞格林、同轴三反和离轴三反等光学系统形式。卡塞格林主要包括两块反射镜,反射镜中大的称为主镜,小的称为副镜,主镜和副镜同轴;双通道卡塞格林通常在主镜中央开孔,当地面景物光信息进入主镜后,反射入射进入副镜,经由副镜反射通过主镜中央的开孔,成像于主镜后面。同轴三反光学系统主要包括主镜、次镜和三镜,主镜、次镜和三镜同在同一条光轴上,地面景物光信息进入主镜后,依次反射入射进入次镜和三镜后,在光轴上成像。离轴三反光学系统和同轴三反光学系统类似,都是主要包括主镜、次镜和三镜,不同的是主镜、次镜和三镜不在同一条光轴上,地面景物光信息进入主镜后,依次反射入射进入次镜和三镜后,在三镜的光轴上成像。

发明内容

[0004] 为了解决现有技术中存在的问题,本发明提供了一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机,该光学相机较好的解决了空间相机因受自身及空间环境影响导致成像质量下降,有效的诊断和补偿了光学系统波前误差,提高了系统对地成像的分辨率。

[0005] 本发明解决技术问题所采用的技术方案如下:

[0006] 一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机包括空间相机光学系统与相位差异波前探测单元;该相位差异波前探测单元包括:在焦多级拼接探测器、离焦多级拼接探测器、在焦探测器接口、离焦探测器接口、数据采集模块、数据预处理模块、计算模块、存储模块和控制接口;

[0007] 首先,地面景物经过空间相机光学系统成像在在焦多级拼接探测器和离焦多级拼接探测器上,在数据采集模块的控制下,在焦探测器接口和离焦探测器接口分别从在焦多级拼接探测器和离焦多级拼接探测器同时采集信息,由数据采集模块将两组采集的信息整合成一帧数据发送到数据预处理模块,数据预处理模块将预处理的子图像发送给计算模块,计算模块把得到的目标恢复图像和波前畸变信息发送给存储模块和控制接口,控制接口通过波前畸变信息对光学相机的离焦像差进行补偿。

[0008] 本发明的有益效果是:本发明在单通道多级线阵拼接探测成像方法的基础上,增加已知离焦量的相位差异成像通道,双通道的使用改善了反演问题的病态性,能对波前信

息进行精确的解算,并根据波前信息对图像进行复原、光学系统的在轨自检测和对离焦误差的补偿。并结合空间光学载荷受体积、重量和系统复杂性限制的特点,光路中仅是在焦面位置引入了一个阶梯状的板,在阶梯的两级上分别各有一条线阵拼接探测器,并且阶梯的高度差为已知量,这样便可以对同一地面景物同时采集焦面和离焦面的双通道图像。本发明无需额外增加高精度波前测量装置,能够降低高性能空间光学相机对设计、结构、热控等方面的要求,实现空间光学相机的高精度在轨诊断和补偿成像。

附图说明

[0009] 图 1 本发明一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机光学系统的具体实施方式的光路示意图。

[0010] 图 2 本发明一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机相位差异波前探测单元的在焦多级拼接探测器和离焦多级拼接探测器。

[0011] 图 3 本发明一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机相位差异波前探测单元的工作流程图。

[0012] 图 4 本发明一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机相位差异波前探测单元根据已知测得的波前对采集来的图像进行复原处理部分示意图。

[0013] 图中 :1、入瞳,2、离轴主镜,3、离轴次镜,4、视场光阑,5、离轴三镜,6、里奥光阑,7、调焦镜,8、在焦多级拼接探测器,9、离焦多级拼接探测器,10、在焦探测器接口,11、离焦探测器接口,12、数据采集模块,13、数据预处理模块,14、计算模块,15、存储模块,16、控制接口。

具体实施方式

[0014] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步详细说明。

[0015] 如图 1 所示,一种具有在轨自诊断和补偿功能的空间光学相机,该相机包括 :离轴三反空间光学系统,离轴三反空间光学系统包括 :入瞳 1、离轴主镜 2、离轴次镜 3、视场光阑 4、离轴三镜 5、里奥光阑 6 和调焦镜 7 ;相机还包括相位差异波前探测单元,该相位差异波前探测单元包括 :在焦多级拼接探测器 8、离焦多级拼接探测器 9、在焦探测器接口 10、离焦探测器接口 11、数据采集模块 12、数据预处理模块 13、计算模块 14、存储模块 15、控制接口 16 和图像复原模块 17 ;

[0016] 首先,地面景物光信息经过入瞳 1 入射到离轴主镜 2,经由离轴主镜 2 反射后出射光入射进入离轴次镜 3,经由离轴次镜 3 反射后出射光通过视场光阑 4 入射进入离轴三镜 5,经由离轴三镜 5 反射后出射光通过里奥光阑 6 入射进入调焦镜 7,经由调焦镜 7 反射后出射光分别进入在焦多级拼接探测器 8 和离焦多级拼接探测器 9 ;如图 2 所示,双探测器拼接固定在同一个基准面上,双通道分光通过在多级线阵探测器前放置调焦镜 7 来实现,并且调焦镜 7 能够引入固定光程位相差,双区域拼接探测器固定在一起,提高双通道成像受失调误差影响的一致性。

[0017] 如图 3 所示,在数据采集模块 12 的控制下,在焦探测器接口 10 和离焦探测器接口 11 分别从在焦多级拼接探测器 8 和离焦多级拼接探测器 9 同时采集信息,曝光时间与卫星相对地面的运动相关,也与单级线阵探测器的积分时间相关。在焦多级拼接探测器 8 和离

焦多级拼接探测器 9 采集信息的离焦量为地面景物对应波前 PV 值的 1 至 1.5λ , 其中, λ 为对应波长, 本系统的样机采用的是 1λ 。数据采集模块 12 将两组采集的图像信息整合成一帧数据发送到数据预处理模块 13, 数据预处理模块 13 主要工作是平场, 在两幅图像上通过图像配准分别抠出细节丰富载波能力强的区域以减少波前解算的工作量, 但是解算到波前后对图像的复原是对完整的整幅图像进行的, 最后把预处理后的子图像发送给基于相位差异法计算模块 14, 它以公式 (1) 为目标函数, 以各帧图像所对应的波前为未知变量进行最优化搜索, 最终将得到目标的恢复图像以及波前畸变信息。

[0018]

$$L(\{\alpha\}) = \frac{1}{2N} \sum_u \left(\sum_{c=1}^C \sigma_c^{-2} |D_c|^2 - \frac{\left| \sum_{c=1}^C \sigma_c^{-2} D_c S_c^* \right|^2}{\gamma + \sum_{c=1}^C \sigma_c^{-2} |S_c|^2} \right) \quad (1)$$

[0019]

$$S_c = F \left\{ \left| F^{-1} \left\{ P(v) e^{i\phi_c(v)} \right\} \right|^2 \right\} \quad (2)$$

$$[0020] \quad \phi_c(v) = \theta_c(v) + \sum_{m=4}^M \alpha_m Z_m(v)$$

[0021] (3)

[0022]

$$Fimg = \frac{\sum_{c=1}^C \sigma_c^{-2} D_c S_c^*}{\gamma + \sum_{c=1}^C \sigma_c^{-2} |S_c|^2} \quad (4)$$

[0023] 其中, u 表示频域坐标, C 表示使用的通道数, 如本发明是双通道探测器, 那么 $C = 2$; N 表示单幅图像的像素总数; $\phi_c(v)$ 表示第 c 通道的波前相位的在光瞳坐标 v 处得值, θ_c 表示第 c 通道已知的固定离焦相位; $\{\alpha\}$ 表示需要求解的泽尼克 (zernike) 系数, $\alpha_m \in \{\alpha\}$ 表示 zernike 系数向量中的第 m 项系数; Z_m 表示第 m 项泽尼克多项式基底; σ_c^{-2} 为通道 c 的噪声读出方差的倒数; F 为傅里叶变换, F^{-1} 表示傅里叶逆变换, v 表示光瞳面坐标, P 表示光瞳函数; S_c 表示通道 c 的光学传递函数; $D_c = F(d_c)$, 式中 d_c 表示第 c 通道采集到的图像; γ 表示非负的正则项系数; 当搜索算法退出的时候, $Fimg$ 为目标理想图像的期望频谱, 对其求傅里叶逆变换就得到了目标的恢复图像。把复原后的图像及波前畸变信息发送给复原后图像及测得的波前存储模块 15, 并根据波前畸变信息中的离焦信息发送给根据波前信息对光学系统离焦进行补偿的控制接口 16, 对离焦像差进行补偿。

[0024] 结合在轨光学系统波前随时间变化并不剧烈的特点, 在每次使用相位差异法解算出波前之后可以在接下来的一段时间之内用该波前恢复图像, 而不需要从新计算波前。如图 4 所示, 在成像质量没有下降并且波前在前一段时间已经测量的前提下, 通过数据采集模块 12 的控制下, 在焦探测器接口 10 和离焦探测器接口 11 分别从在焦多级拼接探测器 8 和离焦多级拼接探测器 9 同时采集两幅图像, 并由数据采集模块 12 将两组采集的图像信息整合成一帧数据发送到数据预处理模块 13, 数据预处理模块 13 的主要工作是平场, 最后把

预处理后的子图像发送给图像复原模块 17, 图像复原模块 17 从复原后图像及测得的波前存储模块 15 中读取波前信息, 应用公式 (4) 直接对图像进行复原, 然后把复原后的图像传入 15。

[0025] 一种具有在轨自诊断和补偿功能的空天光学相机, 其图像处理的过程如下:

[0026] 利用在焦多级拼接探测器 8 和离焦多级拼接探测器 9 采集焦面图像和已知离焦量的离焦面的图像, 并分别通过在焦探测器接口 10 和离焦探测器接口 11 由数据采集模块 12 获得图像数据, 并把同时采集的图像数据对合并成一个数据帧发送给数据预处理模块 13;

[0027] 数据预处理模块 13 对从数据采集模块 12 发送来的图像数据进行配准及截取共同的子图像、噪声估计及去噪等预处理, 并把处理后的结果发送给计算模块 14;

[0028] 计算模块 14 主要包括数学最优化搜索引擎和代价函数计算两个部分。其中数学最优化搜索引擎使用的是 LBFGS(The limited memory variation of the Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno(BFGS)) 算法, 包含搜索引擎初始化和搜索引擎的主体两部分。求解步骤如下:

[0029] 步骤一: 由数据预处理模块 13 传来的数据经过计算模块 14 中的搜索引擎初始化部分转化为频域数据, 并把作为未知量的波前值设为 0;

[0030] 步骤二: 进入计算模块 14 中的代价函数计算部分, 这部分首先根据波前值和由数据预处理模块 13 传来的数据根据公式 4 来估计目标理想图像的期望, 并用公式 1 对这个期望值进行评价得到代价函数值, 并求出代价函数对波前 α_m 的偏导数;

[0031] 步骤三: 用求得的代价函数值和偏导数值通过 LBFGS 算法来调整作为未知量的波前值;

[0032] 步骤四: 根据目标理想图像的期望的代价函数值和目标理想图像的期望的代价函数对公式 3 中波前 α_m 的偏导数, 判断是否满足退出条件, 则计算模块 14 把得到目标恢复图像和波前畸变信息发送给存储模块 15, 否则重复步骤二。对于本系统, 退出条件为, 算法迭代次数大于 1000 次, 或目标函数值在 10 次迭代中的下降总和小于 10^{-15} , 或各项偏导值小于 10^{-15} , 满足以上三个条件之一便退出。

[0033] 把求得的波前值及对目标理想图像期望值的估计发送到存储模块 15, 并进行显示。

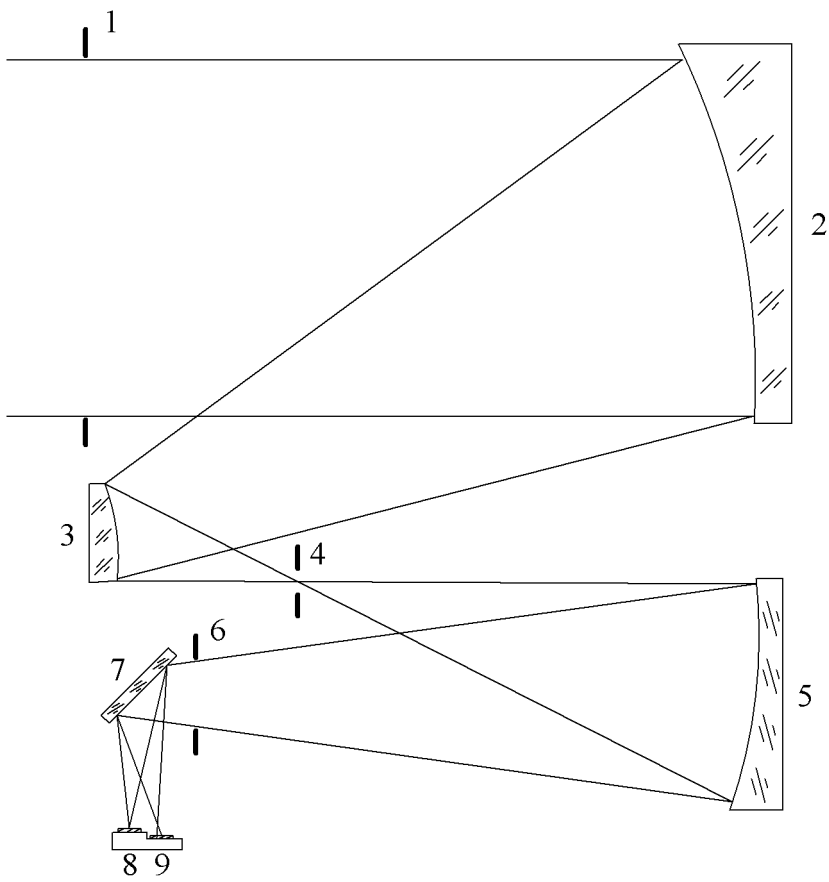


图 1

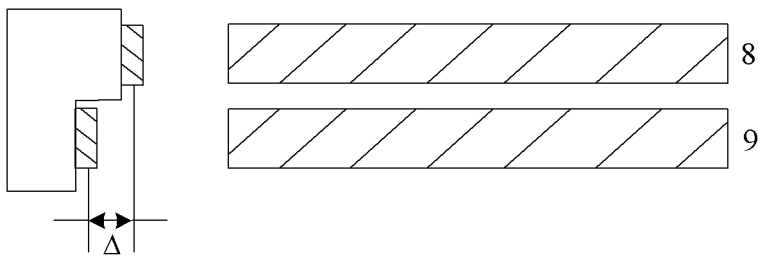


图 2

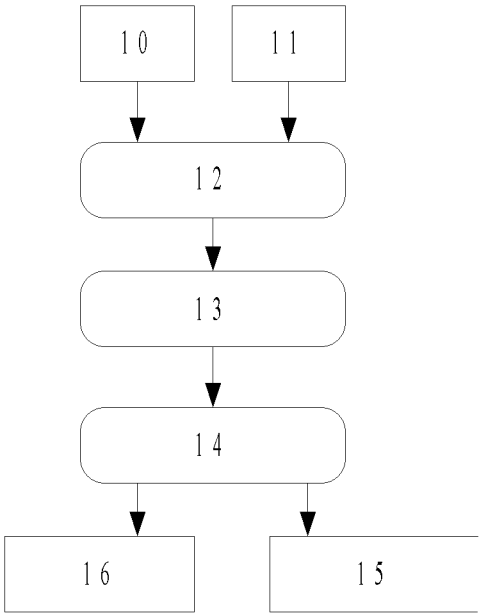


图 3

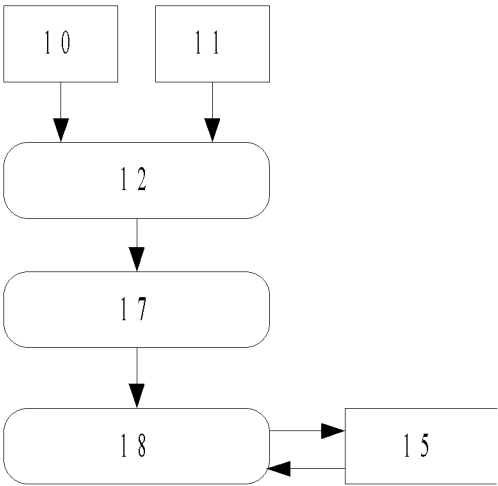


图 4