



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116540407 B

(45) 授权公告日 2023. 09. 22

(21) 申请号 202310822655.6
 (22) 申请日 2023.07.06
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 116540407 A
 (43) 申请公布日 2023.08.04
 (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 吉林省长春市经济技术开发区东南湖大路3888号
 (72) 发明人 罗敬
 (74) 专利代理机构 长春中科长光知识产权代理事务所(普通合伙) 22218
 专利代理师 陈陶
 (51) Int. Cl.
 G02B 27/00 (2006.01)
 G02B 17/06 (2006.01)
 (56) 对比文件
 CN 115437144 A, 2022.12.06

CN 113325575 A, 2021.08.31
 CN 115576102 A, 2023.01.06
 CN 114994913 A, 2022.09.02
 CA 3127821 A1, 2022.02.28
 CN 111176075 A, 2020.05.19
 CN 111367075 A, 2020.07.03
 CN 112926192 A, 2021.06.08
 CN 113900249 A, 2022.01.07
 CN 113946041 A, 2022.01.18
 CN 114942520 A, 2022.08.26
 CN 115561916 A, 2023.01.03
 CN 115826228 A, 2023.03.21
 JP 2019012025 A, 2019.01.24
 WO 2011123702 A1, 2011.10.06
 WO 2022121173 A1, 2022.06.16
 张艺蓝. 基于自由曲面的空间光学系统偏振像差分析. 《光学 精密工程》. 2021, 第29卷(第12期), 2783-2796. (续)

审查员 赵毓静

权利要求书2页 说明书9页 附图6页

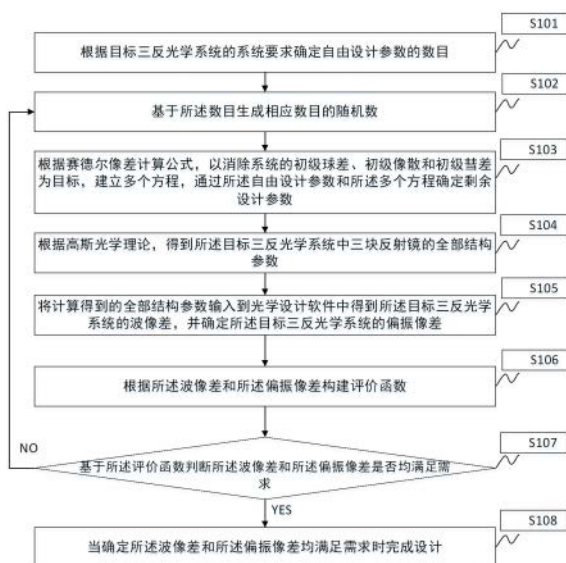
(54) 发明名称

低偏振像差三反光学系统设计方法、系统、设备及介质

(57) 摘要

本发明涉及光学设计领域,具体提供低偏振像差三反光学系统设计方法、系统、设备及介质,根据目标三反光学系统的要求确定自由设计参数的数目,并生成相应数目的随机数,根据赛德尔像差计算公式,以消除目标三反光学系统的初级球差、初级像散和初级彗差为目标,通过自由设计参数和多个方程确定剩余设计参数,根据高斯光学理论,得到目标三反光学系统中三块有光焦度反射镜的全部结构参数,将所有参数输入到光学设计软件中并计算得到目标三反光学系统的波像差和偏振像差,根据波像差和偏振像差构建评价函数,若评价函数不满足需求,则重新以随机数的形式生成新的自由设计参数,并再次计算评价函数,直到波像差和偏振像差均满足需求

时完成设计。



CN 116540407 B

[接上页]

(56) 对比文件

马铭泽. 离轴三反望远镜主镜和三镜面形误差补偿机理.《红外与激光工程》.2023,第52卷(第4期),20230053-1-11.

Applied Optics.Comparisons between an

on-axis three-mirror anastigmat telescope and an off-axis one: polarization aberrations.《Applied Optics》.2021,第60卷(第22期),6438-6447.

1. 一种低偏振像差三反光学系统设计方法,其特征在于,包括:

根据目标三反光学系统的系统要求确定全部设计参数中自由设计参数的数目;

基于所述数目生成相应数目的随机数;

根据赛德尔像差计算公式和所述随机数确定剩余设计参数,所述全部设计参数的数目为所述自由设计参数和所述剩余设计参数的数目之和;所述全部设计参数为7个,包含 K_1 、 K_2 、 K_3 、 α_1 、 α_2 、 β_1 和 β_2 ,其中 K_1 、 K_2 、 K_3 是三块具有光焦度反射镜的二次曲率常数,所述三块具有光焦度反射镜包括主反射镜、次反射镜和三反射镜; α_1 是所述次反射镜对所述主反射镜的遮拦比, α_2 是所述三反射镜对所述次反射镜的遮拦比, β_1 和 β_2 分别为所述次反射镜和所述三反射镜的放大率;

以消除所述目标三反光学系统中的初级球差、初级像散和初级彗差为目标,建立多个方程,通过所述自由设计参数和所述多个方程确定剩余设计参数;当所述目标三反光学系统的像面采用平面时,所述自由设计参数为3个,所述剩余设计参数为4个,所述剩余设计参数用于优化波像差满足系统要求和消除场曲;或

当所述目标三反光学系统的像面不采用平面时,所述自由设计参数为4个,所述剩余设计参数为3个,所述剩余设计参数用于优化波像差满足系统要求;

根据高斯光学理论,得到所述目标三反光学系统中三块具有光焦度反射镜的全部结构参数;

将计算得到的全部结构参数输入到光学设计软件中得到所述目标三反光学系统的波像差,并计算得到所述目标三反光学系统的偏振像差;

根据所述波像差和所述偏振像差构建评价函数;

若评价函数不满足系统要求,则以随机数的形式重新生成新的自由设计参数,并按照上述流程再次计算得到新的评价函数,直到评价函数满足系统要求,完成设计。

2. 根据权利要求1所述的低偏振像差三反光学系统设计方法,其特征在于,所述根据高斯光学理论,得到所述目标三反光学系统中三块反射镜的全部结构参数,包括:

根据高斯光学理论,得到三反光学系统中三块有光焦度反射镜的全部结构参数,包括各个反射镜的顶点曲率半径 r_1 、 r_2 、 r_3 、二次曲率常数 K_1 、 K_2 、 K_3 和间距 d_1 、 d_2 、 d_3 ;

通过自由设计参数,由下列公式(1)和(2)依次计算得到每个反射镜的顶点曲率半径 r_1 、 r_2 、 r_3 和光学间隔 d_1 、 d_2 、 d_3 , f' 的含义为系统焦距;

$$\begin{cases} r_1 = \frac{2f'}{\beta_1\beta_2} \\ r_2 = \frac{2\alpha_1 f'}{(1+\beta_1)\beta_2} \\ r_3 = \frac{2\alpha_1\alpha_2 f'}{1+\beta_2} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} d_1 = \frac{1-\alpha_1}{\beta_1\beta_2} f' \\ d_2 = \frac{\alpha_1(1-\alpha_2)}{\beta_2} f' \\ d_3 = \alpha_1\alpha_2 f' \end{cases} (2)。$$

3. 根据权利要求1所述的低偏振像差三反光学系统设计方法,其特征在于,所述基于所述数目生成相应数目的随机数,包括:

通过数值计算软件针对每一个自由设计参数生成相应的随机数;

所述将计算得到的全部结构参数输入到光学设计软件中得到所述目标三反光学系统的波像差,并计算得到定所述目标三反光学系统的偏振像差,包括:

在所述数值计算软件与所述光学设计软件之间建立数据通信,自动将所述全部结构参数输入到光学设计软件中生成所述目标三反光学系统,并将所述目标三反光学系统的波像差从所述光学设计软件输入到所述数值计算软件;

利用所述数值计算软件与所述光学设计软件之间的数据通信,根据三维偏振光线追迹方法确定所述目标三反光学系统的偏振像差,所述偏振像差包括二向衰减和相位延迟。

4. 根据权利要求1所述的低偏振像差三反光学系统设计方法,其特征在于,所述根据所述波像差和所述偏振像差构建评价函数,包括:

结合计算得到的系统波像差和偏振像差,根据系统的要求构建相应的评价函数,并得到每一个设计完成的所述目标三反光学系统的评价函数。

5. 一种低偏振像差三反光学系统,其特征在于,所述三反光学系统基于权利要求1至4中任一项所述低偏振像差三反光学系统设计方法的设计得到,所述三反光学系统为同轴三反光学系统或离轴三反光学系统。

6. 根据权利要求5所述的低偏振像差三反光学系统,其特征在于,所述三反光学系统的结构参数,包括以下数据:

主反射镜顶点曲率半径为-931.9539 mm,表面间隔为-289.8843 mm,二次曲率常数为-1.3631;次反射镜顶点曲率半径为-499.605 mm,表面间隔为284.9019 mm,二次曲率常数为-6.2685;三反射镜顶点曲率半径为-1076.9 mm,表面间隔为-197.4883 mm,二次曲率常数为-40.0628。

7. 一种计算机设备,其特征在于,包括:

至少一个处理器;以及

与所述至少一个处理器通信连接的存储器;其中,

所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令,所述指令被所述至少一个处理器执行,以使所述至少一个处理器能够执行权利要求1至4中任一项所述的低偏振像差三反光学系统设计方法。

8. 一种存储有计算机指令的非瞬时计算机可读存储介质,其特

征在于,所述计算机指令用于使所述计算机执行权利要求1至4中任一项所述的低偏振像差三反光学系统设计方法。

低偏振像差三反光学系统设计方法、系统、设备及介质

技术领域

[0001] 本发明涉及光学设计技术领域,尤其涉及一种低偏振像差三反光学系统设计方法、系统、设备及介质。

背景技术

[0002] 对于成像光学系统,波像差是最重要的像差,其对成像质量的影响远大于偏振像差,因此在大多数应用中偏振像差可以被忽略。与波像差和光学效率一样,偏振像差是光学系统的一种基本属性。偏振像差表征光线经过光学系统后其振幅、相位以及偏振态的变化。若出射光与入射光的偏振态保持一致,光学系统的偏振特性可以用一个单位琼斯矩阵或穆勒矩阵表示,该系统也被称为理想偏振系统。然而,根据菲涅尔公式,实际非正交入射光线在光学表面反射和折射时,入射光中不同偏振分量的振幅和相位会出现差异,进而改变出射光的偏振态。任何偏离理想偏振特性的系统均含有偏振像差,其偏振像差大小与系统的结构特点和镀膜特性密切相关。

[0003] 随着光刻物镜、对地遥感、天文观测等领域的研究水平不断提高,对光学系统成像质量的要求也越来越高,偏振像差的重要性逐渐凸显。对于太阳望远镜、空间目标探测系统、偏振探测系统、激光测距系统、用于系外类地行星探测的天文望远镜等应用,光学系统的偏振像差均是重要的系统误差源,极大地限制了上述应用的进一步发展。因此,迫切需要通过光学设计,降低光学系统的偏振像差。然而,目前的光学系统设计方案,均是以波像差为优化目标,不能兼顾偏振像差。随着光学系统成像质量的提高,系统的偏振像差逐渐成为一个不可忽略的重要系统误差源。

发明内容

[0004] 本发明为解决上述问题,提供一种低偏振像差三反光学系统设计方法、系统、设备及介质。

[0005] 第一方面,本发明实施例中提供一种低偏振像差三反光学系统设计方法,包括:

[0006] 根据目标三反光学系统的系统要求确定全部设计参数中自由设计参数的数目;

[0007] 基于所述数目生成相应数目的随机数;

[0008] 根据赛德尔像差计算公式,和所述随机数确定剩余设计参数,所述全部设计参数的数目为所述自由设计参数和所述剩余设计参数的数目之和;

[0009] 以消除所述目标三反光学系统中的初级球差、初级像散和初级彗差为目标,建立多个方程,通过所述自由设计参数和所述多个方程确定剩余设计参数;

[0010] 根据高斯光学理论,得到所述目标三反光学系统中三块具有光焦度反射镜的全部结构参数,所述三块具有光焦度的反射镜包括主反射镜、次反射镜和三反射镜;

[0011] 将计算得到的全部结构参数输入到光学设计软件中得到所述目标三反光学系统的波像差,并计算得到所述目标三反光学系统的偏振像差;

[0012] 根据所述波像差和所述偏振像差构建评价函数;

[0013] 基于所述评价函数判断所述波像差和所述偏振像差是否均满足需求；

[0014] 若评价函数不满足系统要求，则以随机数的形式重新生成自由参数，并按照上述流程再次计算得到评价函数，直到系统的所述波像差和所述偏振像差均满足需求时，完成设计。

[0015] 在一些可能的方案中，当确定所述波像差和所述偏振像差中任一个不满足需求时继续进行自由设计参数优化。

[0016] 在一些可能的方案中，所述自由设计参数为7个，包含 K_1 、 K_2 、 K_3 、 α_1 、 α_2 、 β_1 和 β_2 ，其中 K_1 、 K_2 、 K_3 是 three 具有光焦度反射镜的二次曲率常数， α_1 是所述次反射镜对所述主反射镜的遮拦比， α_2 是所述三反射镜对所述次反射镜的遮拦比， β_1 和 β_2 分别为所述次反射镜和所述三反射镜的放大率。

[0017] 在一些可能的方案中，当所述目标三反光学系统的像面采用平面时，所述自由设计参数为3个，剩余设计参数为4个，所述剩余设计参数用于优化波像差满足系统要求和消除场曲；或

[0018] 当所述目标三反光学系统的像面不采用平面时，所述自由设计参数为4个，剩余设计参数为3个，所述剩余设计参数用于优化波像差满足系统要求。

[0019] 在一些可能的方案中，所述根据高斯光学理论，得到所述目标三反光学系统中三块反射镜的全部结构参数，包括：

[0020] 根据高斯光学理论，得到三反光学系统中三块有光焦度反射镜的全部结构参数，包括各个反射镜的顶点曲率半径 r_1 、 r_2 、 r_3 、二次曲率常数 K_1 、 K_2 、 K_3 和间距 d_1 、 d_2 、 d_3 ；

[0021] 通过自由设计参数，由下列公式依次计算得到每个反射镜的顶点曲率半径 r_1 、 r_2 、 r_3 和光学间隔 d_1 、 d_2 、 d_3 ；

$$[0022] \begin{cases} r_1 = \frac{2f'}{\beta_1\beta_2} \\ r_2 = \frac{2\alpha_1 f'}{(1+\beta_1)\beta_2} \\ r_3 = \frac{2\alpha_1\alpha_2 f'}{1+\beta_2} \end{cases} \quad (1)$$

$$[0023] \begin{cases} d_1 = \frac{1-\alpha_1}{\beta_1\beta_2} f' \\ d_2 = \frac{\alpha_1(1-\alpha_2)}{\beta_2} f' \\ d_3 = \alpha_1\alpha_2 f' \end{cases} \quad (2)$$

[0024] 在一些可能的方案中，所述基于所述数目生成相应数目的随机数，包括：

[0025] 通过数值计算软件针对每一个自由设计参数生成相应的随机数；

[0026] 所述将计算得到的全部结构参数输入到光学设计软件中得到所述目标三反光学系统的波像差，并确定所述目标三反光学系统的偏振像差，包括：

[0027] 在所述数值计算软件与所述光学设计软件之间建立数据通信，自动将所述全部结

构参数输入到光学设计软件中生成所述目标三反光学系统,并将所述目标三反光学系统的波像差从所述光学设计软件输入到所述数值计算软件;

[0028] 利用所述数值计算软件与所述光学设计软件之间的数据通信,根据三维偏振光线追迹方法确定所述目标三反光学系统的偏振像差,所述偏振像差包括二向衰减和相位延迟。

[0029] 在一些可能的方案中,所述根据所述波像差和所述偏振像差构建评价函数,包括:

[0030] 结合计算得到的系统波像差和偏振像差,根据系统的要求构建相应的评价函数,并得到每一个设计完成的所述目标三反光学系统的评价函数。

[0031] 第二方面,本发明实施例中提供一种低偏振像差三反光学系统,所述三反光学系统基于上述低偏振像差三反光学系统设计方法的设计得到,所述三反光学系统为同轴三反光学系统或离轴三反光学系统

[0032] 作为一种可选的方案,所述低偏振像差三反光学系统的结构参数,包括以下数据:

	顶点曲率半径	表面间隔	二次曲率常数
[0033] 主反射镜	-931.9539 mm	-289.8843 mm	-1.3631
次反射镜	-499.605 mm	284.9019 mm	-6.2685
三反射镜	-1076.9 mm	-197.4883 mm	-40.0628

[0034] 第三方面,本发明实施例中提供一种计算机设备,包括:

[0035] 至少一个处理器;以及

[0036] 与所述至少一个处理器通信连接的存储器;其中,

[0037] 所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令,所述指令被所述至少一个处理器执行,以使所述至少一个处理器能够执行上述的三反光学系统设计方法。

[0038] 第四方面,本发明实施例中提供一种存储有计算机指令的非瞬时计算机可读存储介质,所述计算机指令用于使所述计算机执行上述的三反光学系统设计方法。

[0039] 与现有技术相比,本发明能够取得如下有益效果:

[0040] 本发明实施例中提供一种低偏振像差三反光学系统设计方法、系统、设备及介质。根据目标三反光学系统的系统要求确定自由设计参数的数目,生成相应数目的随机数。根据赛德尔像差计算公式,以消除目标三反光学系统的初级球差、初级像散和初级彗差为目标,建立多个方程,通过自由设计参数和多个优化方程确定剩余设计参数。根据高斯光学理论,得到目标三反光学系统中三块具有光焦度反射镜的全部结构参数,将计算得到的全部结构参数输入到光学设计软件中,得到目标三反光学系统的波像差,并计算得到目标三反光学系统的偏振像差。根据波像差和偏振像差构建评价函数,基于评价函数判断波像差和偏振像差是否均满足需求。若评价函数不满足系统要求,则以随机数的形式重新生成自由参数,并按照所述流程再次计算得到评价函数,直到系统的所述波像差和所述偏振像差均满足需求时,完成设计。通过本发明,设计得到的三反光学系统既能实现高质量成像,又能够大幅度降低系统的偏振像差。

附图说明

[0041] 图1是根据本发明实施例提供的/本发明具体实施方式中的三反光学系统设计方

法的流程示意图；

[0042] 图2是参考系统的光路示意图；

[0043] 图3是参考系统的全视场波像差分布示意图；

[0044] 图4是根据本发明实施例提供的/本发明具体实施方式中的同轴三反光学系统的示意图；

[0045] 图5是根据本发明实施例提供的/本发明具体实施方式中的同轴三反光学系统的全视场波像差分布示意图；

[0046] 图6是根据本发明实施例提供的/本发明具体实施方式中的参考系统与优化系统的偏振像差对比结果(a)二向衰减(b)相位延迟的示意图；

[0047] 图7是根据本发明实施例提供的/本发明具体实施方式中提供的计算机设备的结构框图。

具体实施方式

[0048] 在下文中,将参考附图描述本发明的实施例。在下面的描述中,相同的模块使用相同的附图标记表示。在相同的附图标记的情况下,它们的名称和功能也相同。因此,将不重复其详细描述。

[0049] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及具体实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,而不构成对本发明的限制。

[0050] 结合图1所示,本发明实施例中提供一种低偏振像差三反光学系统设计方法,包括:

[0051] S101、根据目标三反光学系统的系统要求确定自由设计参数的数目。

[0052] 在本实施例中,全部设计参数可以为7个,包含 K_1 、 K_2 、 K_3 、 α_1 、 α_2 、 β_1 和 β_2 ,其中 K_1 、 K_2 、 K_3 是三块具有光焦度反射镜的二次曲率常数, α_1 是所述次反射镜对所述主反射镜的遮拦比, α_2 是所述三反射镜对所述次反射镜的遮拦比, β_1 和 β_2 分别为所述次反射镜和所述三反射镜的放大率。

[0053] S102、基于所述数目生成相应数目的随机数。

[0054] 本实施例中,可以通过数值计算软件针对每一个自由设计参数生成相应的随机数,数值计算软件可以是Matlab软件,对此不做限定。

[0055] S103、根据赛德尔像差计算公式,和所述随机数确定剩余设计参数,所述全部设计参数的数目为所述自由设计参数和所述剩余设计参数的数目之和。

[0056] 以消除系统初级球差、初级像散和初级彗差为目标,建立多个方程,通过随机数和赛德尔像差计算公式求解得到剩余设计参数。若三反光学系统要求像面是平面,则还要消除场曲。初级球差、初级像散和初级彗差是三反光学系统主要的波像差,为保证三反光学系统满足成像质量要求,这三种初级像差必须消除。通过赛德尔像差理论,得到上述初级像差与三反光学系统设计参数 K_1 、 K_2 、 K_3 、 α_1 、 α_2 、 β_1 和 β_2 之间的函数关系。因此,可以建立3个方程,这需要占据7个全部设计参数中的3个。如果还要求系统像面是平面,还需要消除场曲,进而还需要再占据1个设计参数。综上,若系统不要求系统像面是平面,则有4个自由设

计参数,另外3个设计参数用来保证系统波像差满足要求。若系统要求像面是平面,则有3个自由设计参数,另外4个设计参数用来保证系统波像差和平像面。

[0057] S104、根据高斯光学理论,得到所述目标三反光学系统中三块反射镜的全部结构参数,所述三块反射镜包括主反射镜、次反射镜和三反射镜。

[0058] 根据高斯光学理论,得到三反光学系统中三块有光焦度反射镜的全部结构参数,包括各个反射镜的顶点曲率半径 r_1, r_2, r_3 、二次曲率常数 K_1, K_2, K_3 和间距 d_1, d_2, d_3 。

[0059] 通过自由设计参数,由下列公式依次计算得到每个反射镜的顶点曲率半径 r_1, r_2, r_3 和光学间隔 d_1, d_2, d_3 ;

$$[0060] \begin{cases} r_1 = \frac{2f'}{\beta_1\beta_2} \\ r_2 = \frac{2\alpha_1 f'}{(1+\beta_1)\beta_2} \\ r_3 = \frac{2\alpha_1\alpha_2 f'}{1+\beta_2} \end{cases} (1)$$

$$[0061] \begin{cases} d_1 = \frac{1-\alpha_1}{\beta_1\beta_2} f' \\ d_2 = \frac{\alpha_1(1-\alpha_2)}{\beta_2} f' \\ d_3 = \alpha_1\alpha_2 f' \end{cases} (2)$$

[0062] S105、将计算得到的全部结构参数输入到光学设计软件中得到所述目标三反光学系统的波像差,并计算得到所述目标三反光学系统的偏振像差。

[0063] 本实施例中,在所述数值计算软件与所述光学设计软件之间建立数据通信,自动将所述全部结构参数输入到光学设计软件中生成所述目标三反光学系统,并将所述目标三反光学系统的波像差从所述光学设计软件输入到所述数值计算软件,利用所述数值计算软件与所述光学设计软件之间的数据通信,根据三维偏振光线追迹方法确定所述目标三反光学系统的偏振像差,所述偏振像差包括二向衰减和相位延迟。

[0064] S106、根据所述波像差和所述偏振像差构建评价函数。

[0065] 结合计算得到的系统波像差和偏振像差,根据系统的要求构建相应的评价函数,并得到每一个设计完成的三反光学系统的评价函数。

[0066] S107、基于所述评价函数判断所述波像差和所述偏振像差是否均满足需求,若均满足则执行S108,若不满足则执行S102。

[0067] 根据评价函数,进行综合判断。若得到的系统波像差和偏振像差均满足要求,则设计完成,否则继续优化自由设计参数,重新执行S102-S106。

[0068] 以评价函数为指标,以自由设计参数为变量,可以通过遗传算法或粒子群算法等全局优化算法,实现三反光学系统的优化迭代,最终得到波像差和偏振像差均满足要求的设计结果。

[0069] S108、当确定所述波像差和所述偏振像差均满足需求时完成设计。

[0070] 在一些可能的方案中,还包括:当确定所述波像差和所述偏振像差中任一个不满

足需求时继续进行自由设计参数优化,具体是返回到步骤S102。

[0071] 具体地,当所述目标三反光学系统的像面采用平面时,所述自由设计参数被选中3个,7个全部设计参数中被选中后剩下的称谓剩余设计参数,剩余设计参数为4个,所述剩余设计参数用于优化波像差满足系统要求和消除场曲。

[0072] 具体地,当所述目标三反光学系统的像面不采用平面时,所述自由设计参数被选中4个,剩余设计参数为3个,所述剩余设计参数用于优化波像差满足系统要求。

[0073] 下面以具体的三反光学系统设计实例来对本发明的效果进行详细说明。

[0074] 结合图2所示,提供同轴三反光学系统作为参考系统,参考系统具有F/10、通光口径100mm、有效视场为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,参考系统的结构参数如表1所示,光路如图2中所示。该参考系统有效视场内的波像差分布如图3所示,波像差RMS平均值达到 0.033λ ,偏振像差计算结果如图6中方形曲线所示。

[0075] 表1 参考系统的结构参数

	顶点曲率半径	表面间隔	二次曲率常数
[0076] 主反射镜	-203.2346 mm	-74.1603 mm	-0.9697
次反射镜	-70.9933 mm	200.2567 mm	-2.2920
三反射镜	-109.1057 mm	-176.1386 mm	-0.5422

[0077] 通过本发明实施例提出的方法,设计了一个低偏振像差同轴三反光学系统,该三反光学系统与参考系统的一阶参数全部相同,即F/10,通光口径100mm,有效视场为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。设计完成后,该三反光学系统的结构参数如表2所示,该三反光学系统的光路如图4所示,该三反光学系统的全视场的波像差分布如图5所示,波像差RMS平均值达到 0.0091λ ,满足衍射受限要求。

[0078] 表2 经偏振像差优化后系统的结构参数

	顶点曲率半径	表面间隔	二次曲率常数
[0079] 主反射镜	-931.9539 mm	-289.8843 mm	-1.3631
次反射镜	-499.605 mm	284.9019 mm	-6.2685
三反射镜	-1076.9 mm	-197.4883 mm	-40.0628

[0080] 对图4所示经优化设计后的系统进行三维偏振光线追迹,计算得到不同孔径位置的偏振像差,如图6中圆形曲线所示。对比图6中方形曲线和圆形曲线可以发现,相比较于参考系统,通过本发明所述方法优化设计的三反光学系统偏振像差大幅度降低,仅为参考系统的约1/10,而波像差也满足要求,其RMS平均值甚至比参考系统更低。显然,本发明所述方法能够有效地实现低偏振像差三反光学系统的设计。

[0081] 本发明实施例中提供一种低偏振像差三反光学系统设计方法、系统、设备及介质。根据目标三反光学系统的系统要求确定自由设计参数的数目,生成相应数目的随机数。根据赛德尔像差计算公式,以消除目标三反光学系统的初级球差、初级像散和初级彗差为目标,建立多个方程,通过自由设计参数和多个优化方程确定剩余设计参数。根据高斯光学理论,得到目标三反光学系统中三块反射镜的全部结构参数,将计算得到的全部结构参数输

入到光学设计软件中,得到目标三反光学系统的波像差,并计算得到目标三反光学系统的偏振像差。根据波像差和偏振像差构建评价函数,基于评价函数判断波像差和偏振像差是否均满足需求。若评价函数不满足系统要求,则以随机数的形式重新生成自由参数,并按照所述流程再次计算得到评价函数,直到系统的所述波像差和所述偏振像差均满足需求时,完成设计。通过本发明,设计得到的三反光学系统既能实现高质量成像,又能够大幅度降低系统的偏振像差。

[0082] 相应地,本发明实施例中提供一种低偏振像差三反光学系统,该三反光学系统基于上述三反光学系统设计方法的设计得到,所述三反光学系统为同轴三反光学系统或离轴三反光学系统。

[0083] 本发明实施例中,以三反光学系统设计参数为自由变量,以波像差和偏振像差为优化目标,构建评价函数,通过优化光学系统的设计参数,既可以使得系统波像差满足成像质量要求,又能够大幅度降低系统的偏振像差。

[0084] 相应地,根据本发明的实施例,本发明还提供了一种计算机设备、一种可读存储介质和一种计算机程序产品。

[0085] 图7为本发明实施例中提供的一种计算机设备12的结构示意图。图7示出了适于用来实现本发明实施方式的示例性计算机设备12的框图。图7显示的计算机设备12仅仅是一个示例,不应对本发明实施例的功能和使用范围带来任何限制。

[0086] 如图7所示,计算机设备12以通用计算设备的形式表现。计算机设备12旨在表示各种形式的数字计算机,诸如,膝上型计算机、台式计算机、工作台、个人数字助理、服务器、刀片式服务器、大型计算机、和其它适合的计算机。电子设备还可以表示各种形式的移动装置,诸如,个人数字处理、蜂窝电话、智能电话、可穿戴设备和其它类似的计算装置。本文所示的部件、它们的连接和关系、以及它们的功能仅仅作为示例,并且不意在限制本文中描述的和/或者要求的本发明的实现。

[0087] 计算机设备12的组件可以包括但不限于:一个或者多个处理器或者处理单元16,系统存储器28,连接不同系统组件(包括系统存储器28和处理单元16)的总线18。

[0088] 总线18表示几类总线结构中的一种或多种,包括存储器总线或者存储器控制器,外围总线,图形加速端口,处理器或者使用多种总线结构中的任意总线结构的局域总线。举例来说,这些体系结构包括但不限于工业标准体系结构(ISA)总线,微通道体系结构(MAC)总线,增强型ISA总线、视频电子标准协会(VESA)局域总线以及外围组件互连(PCI)总线。

[0089] 计算机设备12典型地包括多种计算机系统可读介质。这些介质可以是任何能够被计算机设备12访问的可用介质,包括易失性和非易失性介质,可移动的和不可移动的介质。

[0090] 系统存储器28可以包括易失性存储器形式的计算机系统可读介质,例如随机存取存储器(RAM)30和/或高速缓存存储器32。计算机设备12可以进一步包括其它可移动/不可移动的、易失性/非易失性计算机系统存储介质。仅作为举例,存储系统34可以用于读写不可移动的、非易失性磁介质(图7未显示,通常称为“硬盘驱动器”)。尽管图7中未示出,可以提供用于对可移动非易失性磁盘(例如“软盘”)读写的磁盘驱动器,以及对可移动非易失性光盘(例如CD-ROM、DVD-ROM或者其它光介质)读写的光盘驱动器。在这些情况下,每个驱动器可以通过一个或者多个数据介质接口与总线18相连。系统存储器28可以包括至少一个程序产品,该程序产品具有一组(例如至少一个)程序模块,这些程序模块被配置以执行本发

明各实施例的功能。

[0091] 具有一组(至少一个)程序模块42的程序/实用工具40,可以存储在例如系统存储器28中,这样的程序模块42包括但不限于操作系统、一个或者多个应用程序、其它程序模块以及程序数据,这些示例中的每一个或某种组合中可能包括网络环境的实现。程序模块42通常执行本发明所描述的实施例中的功能和/或方法。

[0092] 计算机设备12也可以与一个或多个外部设备14(例如键盘、指向设备、显示器24等)通信,还可与一个或者多个使得用户能与该计算机设备12交互的设备通信,和/或与使得该计算机设备12能与一个或多个其它计算设备进行通信的任何设备(例如网卡,调制解调器等等)通信。这种通信可以通过输入/输出(I/O)接口22进行。并且,计算机设备12还可以通过网络适配器20与一个或者多个网络(例如局域网(LAN),广域网(WAN)和/或公共网络,例如因特网)通信。如图所示,网络适配器20通过总线18与计算机设备12的其它模块通信。应当明白,尽管图中未示出,可以结合计算机设备12使用其它硬件和/或软件模块,包括但不限于:微代码、设备驱动器、冗余处理单元、外部磁盘驱动阵列、RAID系统、磁带驱动器以及数据备份存储系统等。

[0093] 处理单元16通过运行存储在系统存储器28中的程序,从而执行各种功能应用以及数据处理,例如实现本发明实施例所提供的三反光学系统设计方法。

[0094] 本发明实施例中还提供一种存储有计算机指令的非瞬时计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其中,该程序被处理器执行时本申请所有发明实施例提供的三反光学系统设计方法。

[0095] 本发明实施例的计算机存储介质,可以采用一个或多个计算机可读的介质的任意组合。计算机可读介质可以是计算机可读信号介质或者计算机可读存储介质。计算机可读存储介质的更具体的例子(非穷举的列表)包括:具有一个或多个导线的电连接、便携式计算机磁盘、硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦式可编程只读存储器(EPROM或闪存)、光纤、便携式紧凑磁盘只读存储器(CD-ROM)、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。在本文件中,计算机可读存储介质可以是任何包含或存储程序的有形介质,该程序可以被指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用。

[0096] 计算机可读的信号介质可以包括在基带中或者作为载波一部分传播的数据信号,其中承载了计算机可读的程序代码。这种传播的数据信号可以采用多种形式,包括但不限于电磁信号、光信号或上述的任意合适的组合。计算机可读的信号介质还可以是计算机可读存储介质以外的任何计算机可读介质,该计算机可读介质可以发送、传播或者传输用于由指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用的程序。

[0097] 计算机可读介质上包含的程序代码可以用任何适当的介质传输,包括但不限于无线、电线、光缆、RF等等,或者上述的任意合适的组合。可以以一种或多种程序设计语言或其组合来编写用于执行本发明操作的计算机程序代码,所述程序设计语言包括面向对象的程序设计语言诸如Java、Smalltalk、C++,还包括常规的过程式程序设计语言—诸如“C”语言或类似的程序设计语言。程序代码可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中,远程计算机可以通过任意种类的网络包括局域网(LAN)或广域网(WAN)连接到用户计算机,或者,可以连接到外部

计算机(例如利用因特网服务提供商来通过因特网连接)。

[0098] 本发明实施例还提供一种计算机程序产品,包括计算机程序,所述计算机程序在被处理器执行时实现根据上述的三反光学系统设计方法。

[0099] 应该理解,可以使用上面所示的各种形式的流程,重新排序、增加或删除步骤。例如,本发明公开中记载的各步骤可以并行地执行也可以顺序地执行也可以不同的次序执行,只要能够实现本发明公开的技术方案所期望的结果,本文在此不进行限制。

[0100] 上述具体实施方式,并不构成对本发明保护范围的限制。本领域技术人员应该明白的是,根据设计要求和因素,可以进行各种修改、组合、子组合和替代。任何在本发明的精神和原则之内所作的修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明保护范围之内。

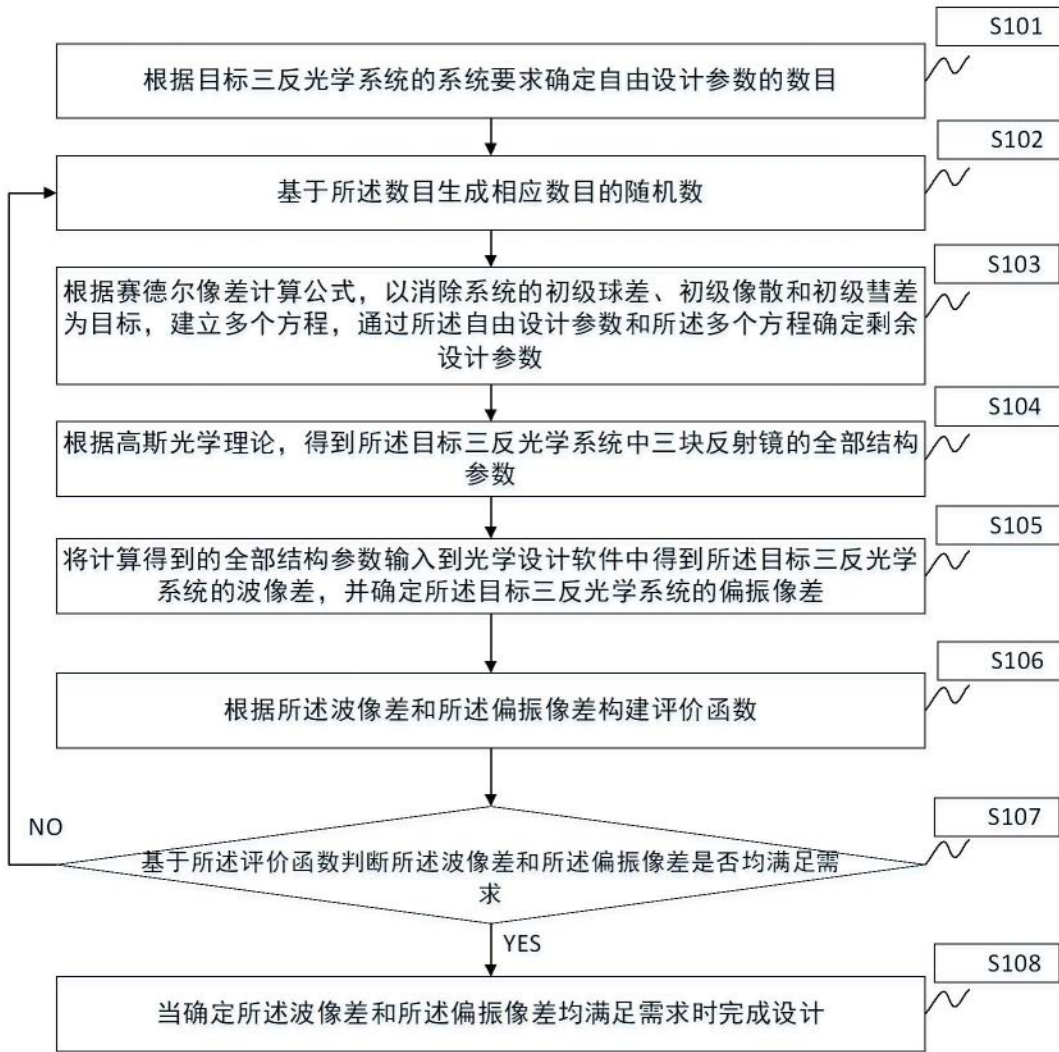


图1

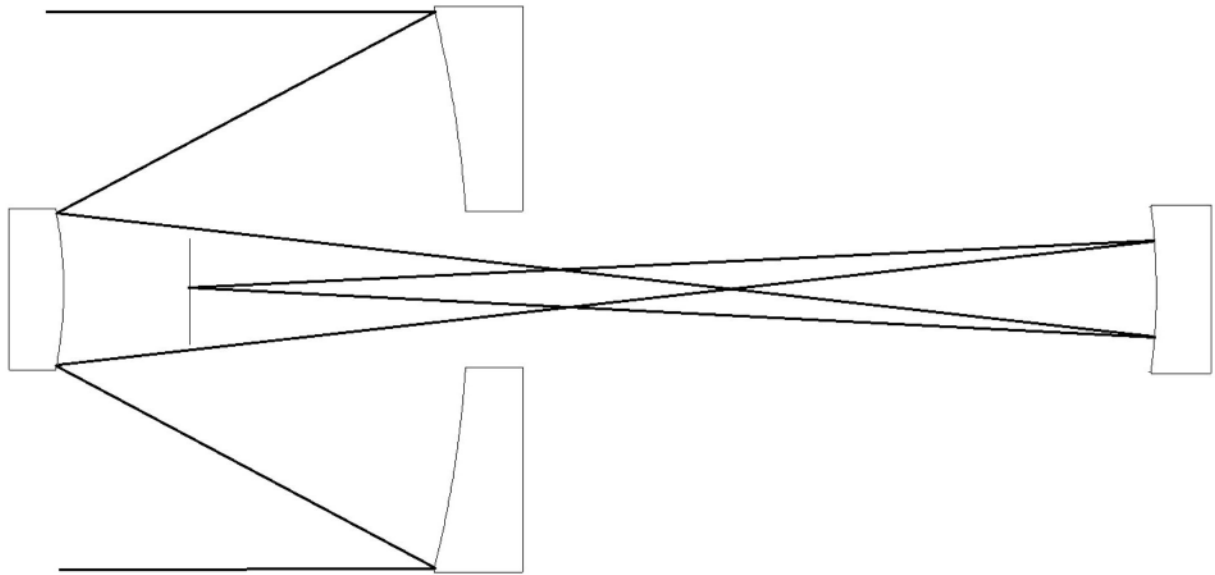
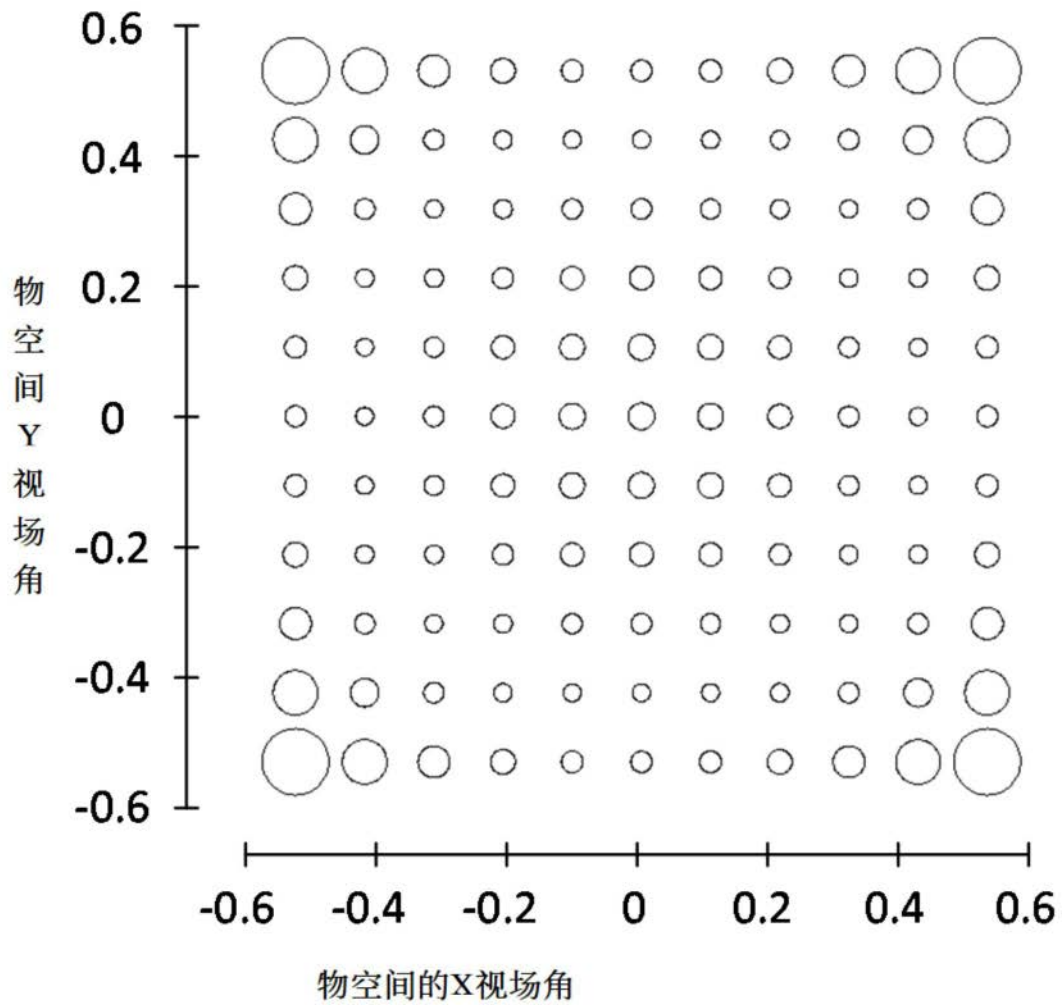


图2



最小值 =0.023

最大值 =0.088

平均水平 =0.033

标准偏差 =0.013

图3

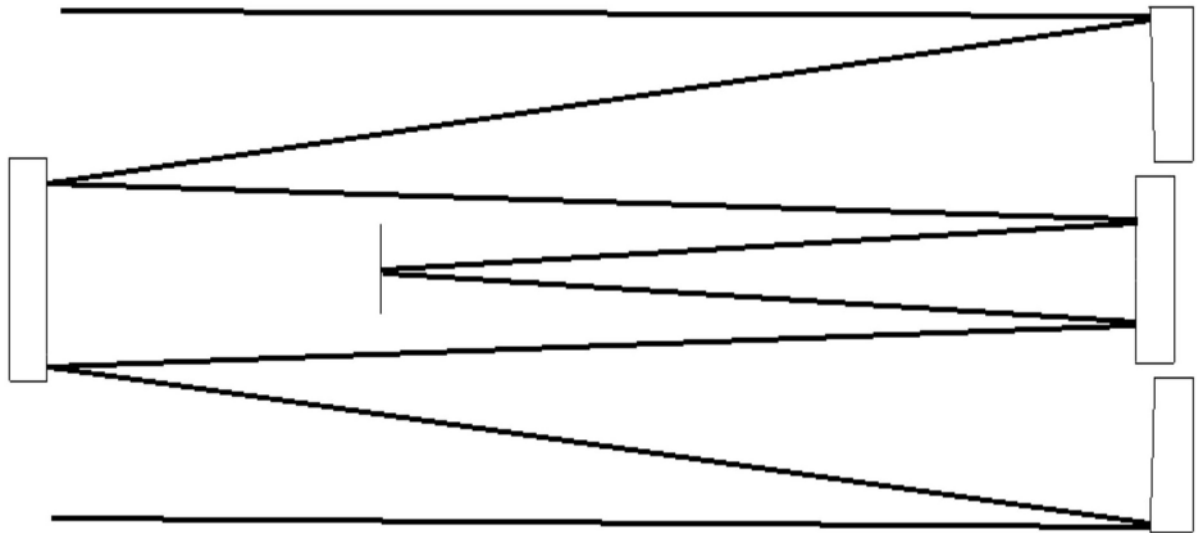
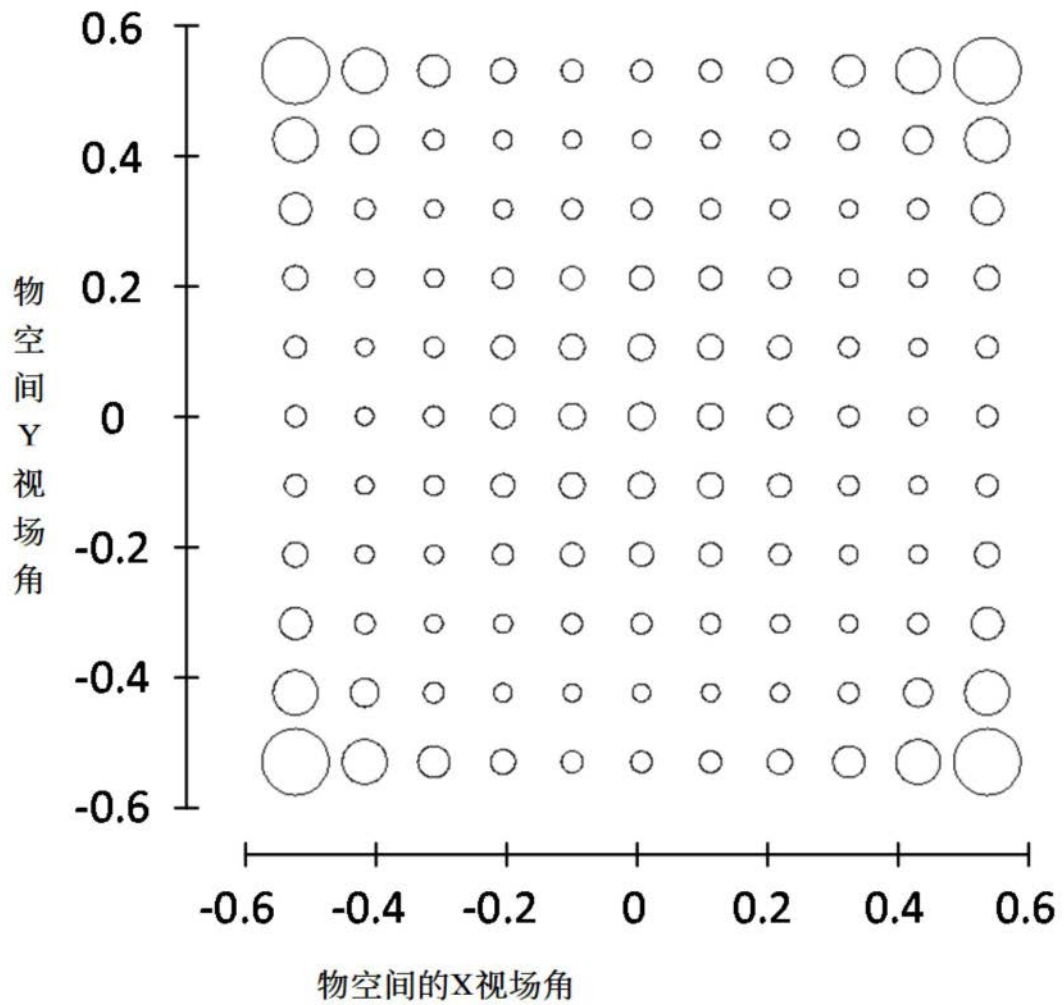


图4



最小值 =0.023

最大值 =0.088

平均水平 =0.033

标准偏差 =0.013

图5

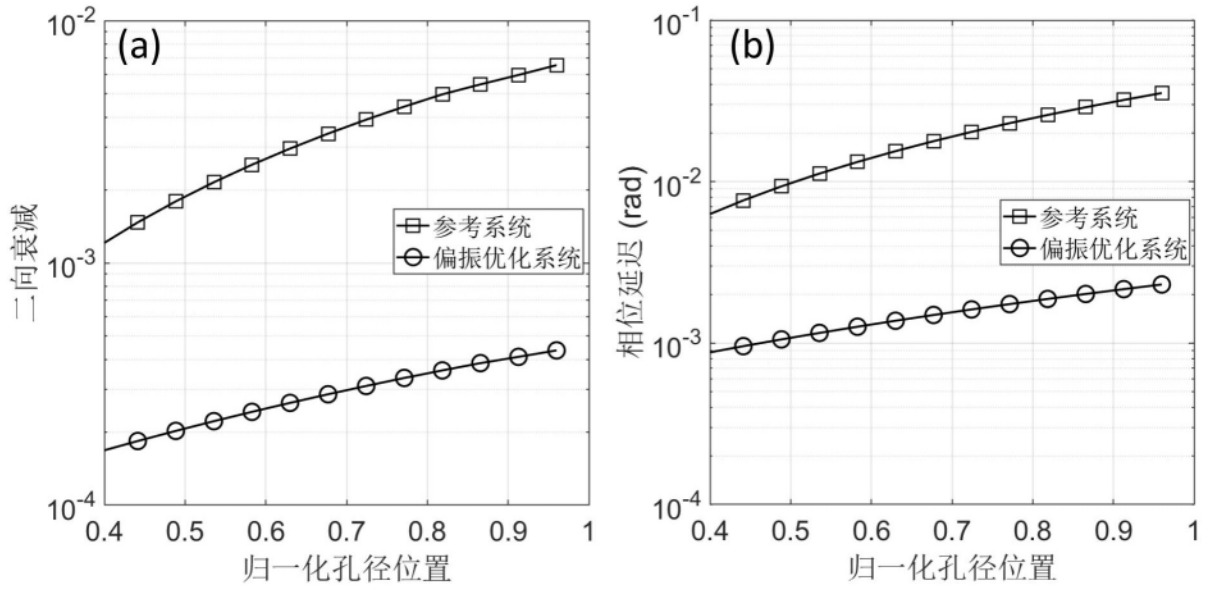


图6

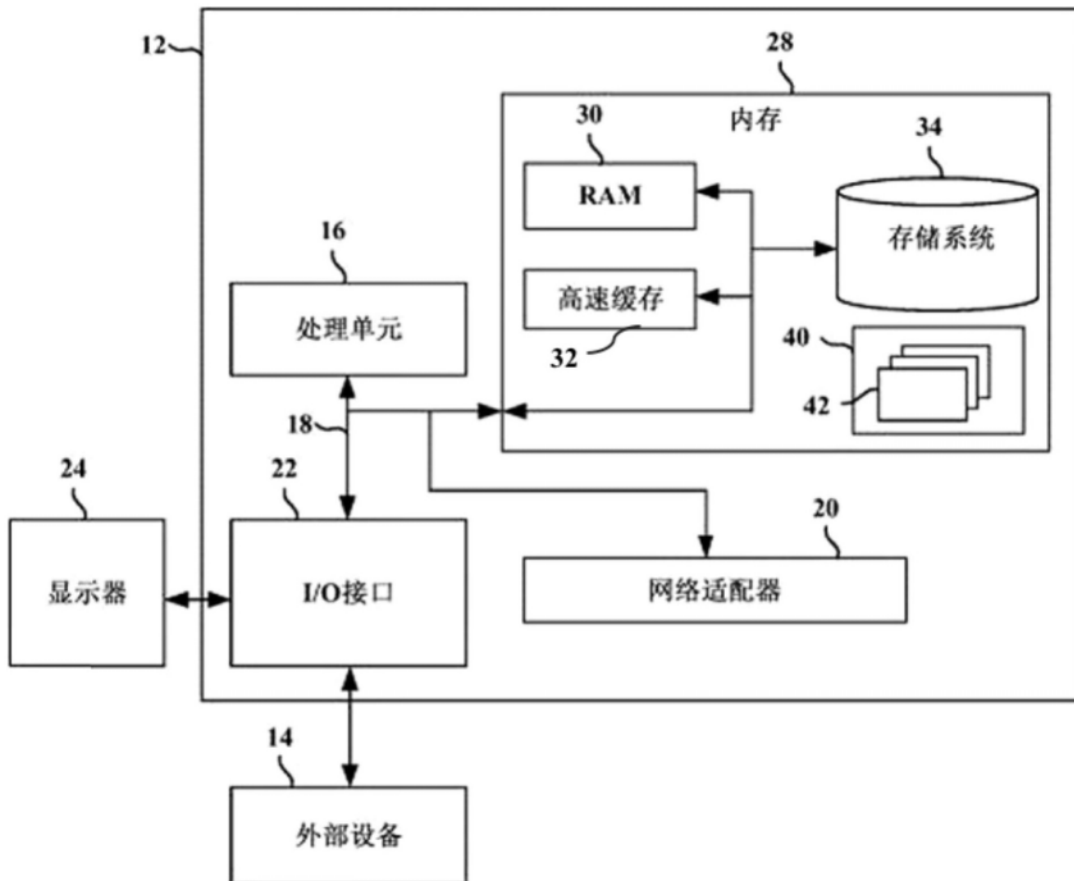


图7