



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105572692 B

(45)授权公告日 2018.02.06

(21)申请号 201510954766.8

(22)申请日 2015.12.16

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105572692 A

(43)申请公布日 2016.05.11

(73)专利权人 上海卫星工程研究所

地址 200240 上海市闵行区华宁路251号

(72)发明人 宋效正 吕旺 王田野 仲惟超

潘高伟 李志慧 俞洁 董瑶海

汪浩平

(74)专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限

公司 31236

代理人 郭国中

(51)Int.Cl.

G01S 19/08(2010.01)

(56)对比文件

CN 103234512 A,2013.08.07,

CN 102116642 A,2011.07.06,

CN 105035370 A,2015.11.11,

JP H09226700 A,1997.09.02,

CN 102393213 A,2012.03.28,

CN 102865883 A,2013.01.09,

CN 102778333 A,2012.11.14,

CN 102116641 A,2011.07.06,

CN 101660966 A,2010.03.03,

陈正超.中国DMC小卫星在轨测试技术研究.《中国博士学位论文全文数据库 工程科技II辑》.2005,(第7期),

毕国龙.三轴气浮转台系统技术实现研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技II辑》.2015,(第5期),

许海玉等.GEO卫星图像定位配准技术及仿真验证研究.《航天器工程》.2015,第24卷(第4期),

贺威等.可见光和热红外辐射定标方法浅述.《影像技术》.2005,(第1期),

审查员 杨喆

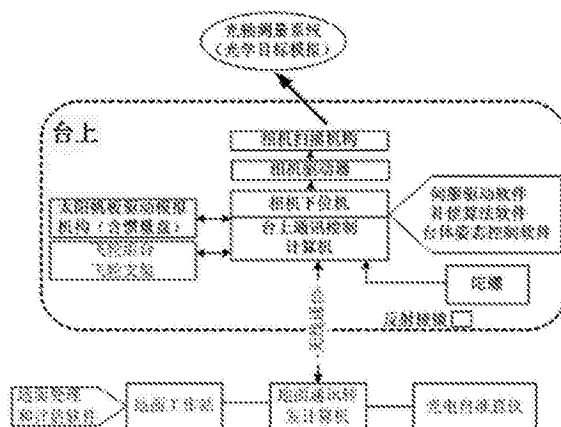
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

卫星图像导航与配准全物理试验装置及测试方法

(57)摘要

本发明提供了一种卫星图像导航与配准全物理试验装置及测试方法,其包括三轴气浮台(1)、光轴测量系统(2)、调节机构(3)、无线通信设备(4)、光电自准直仪(5)、相机安装板(6),以及星上参试设备如成像相机(含扫描机构)(7)、太阳帆板驱动模拟机构(8)、陀螺组合(9)、飞轮组合(10)等,模拟卫星在轨工作状态,进行系统级试验。本发明可对小面阵、二维扫描成像相机或大口径长线列、大面阵成像相机等不同载荷进行图像导航与配准气浮台全物理试验验证和性能测试,确保星上图像导航与配准技术方案和系统指标满足星上要求。



1. 一种卫星图像导航与配准全物理试验测试方法,其特征在于,包括一体化图像导航与配准补偿应用试验测试步骤;

所述一体化图像导航与配准补偿应用试验测试步骤,包括:

步骤1:对星上姿态、成像相机(7)的扫描镜指向进行控制和测量试验,评估星上姿态、成像相机(7)的扫描镜指向对图像导航与配准精度的影响;

步骤2:通过成像相机(7)对多谱段的光轴测量系统(2)直接成像,下传成像相机(7)的成像数据至地面处理评估工作站中,并下传图像配准辅助数据;其中,图像配准辅助数据包括时间、姿态数据、陀螺数据、光电自准直仪数据、相机转角测量数据、相机成像行号、相机曝光时间;

步骤3:将成像数据依时间先后构建图像帧序列,将下传的图像配准辅助数据的变化值在时间上与图像帧采集点对应一致;

步骤4:选择图像帧序列中的第一成像帧为基准,对后续成像帧根据图像配准辅助数据中的卫星姿态,基于成像相机(7)的相机成像模型进行相机不同方位入射光束的成像非线性修正,获得所需配准的两幅图像对应像元的实际偏移量,进行图像导航与配准处理应用。

## 卫星图像导航与配准全物理试验装置及测试方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及导航与配准领域,具体地,涉及卫星图像导航与配准全物理试验装置及测试方法。

### 背景技术

[0002] 图像导航与配准是补偿星载相机扫描镜运动干扰、卫星姿态变化、轨道漂移以及结构热变形等因素对遥感卫星图像几何应用影响的关键技术。美国三轴稳定静止轨道气象卫星,从1994年发射的GOES-8就开始着手解决图像导航与配准问题,不仅在地面进行了反复试验,而且卫星发射之后,针对卫星在轨情况,进行了大量的设计优化,通过5颗卫星的持续改进,历时11年,到2006年发射的GOES-13卫星,图像导航与配准性能才有明显改善。

[0003] 图像导航与配准技术涉及卫星总体、姿态控制、相机等多个系统,技术难度很大,采用三轴气浮台全物理仿真综合成像试验能够有效地验证系统设计的可行性和补偿效果,以便确定卫星图像导航与配准系统方案,检验星载软硬件的性能,优化总体、控制系统、相机以及地面应用系统的指标,全面验证并确定整个图像导航与配准系统的设计参数,确保卫星上的图像导航与配准技术方案和系统指标满足星上的要求。

[0004] 目前没有发现同本发明类似技术的说明或报道,也尚未收集到国内外类似的资料。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种卫星图像导航与配准全物理试验装置及测试方法,涉及一种对地遥感光学卫星图像导航与配准全物理试验技术及验证方法,更具体的说,涉及一种三轴稳定光学遥感卫星在轨高精度图像导航与配准的地面验证方法,用于星地一体化图像导航与配准技术有效性评估和性能验证。

[0006] 根据本发明提供的一种卫星图像导航与配准全物理试验装置,包括:三轴气浮台1、光轴测量系统2、调节机构3、无线通信设备4、光电自准直仪5、相机安装板6、成像相机7、太阳帆板驱动模拟机构8、陀螺组合9、飞轮组合10;

[0007] 无线通信设备4、相机安装板6、太阳帆板驱动模拟机构8、陀螺组合9、飞轮组合10按照装星状态安装在三轴气浮台1的仪表平台上;成像相机7安装在相机安装板6上;

[0008] 光轴测量系统安装于调节机构上;两台光电自准直仪90度布局,均放置在隔振地基上;

[0009] 光轴测量系统模拟无穷远处的遥感目标,用于测评三轴气浮台模拟卫星在轨姿态变化下的相机光轴指向变化;通过调节机构调整光轴测量系统出射的光线指向,使得三轴气浮台上的相机能够对光轴测量系统的出射光线进行成像,实现对卫星在轨全光链路成像的地面模拟;两台光电自准直仪联合对三轴气浮台的台体姿态进行测量,用于台体姿态变化监视以及对图像的姿态运动补偿。

[0010] 优选地,三轴气浮台1包括轴承座、气浮球以及仪表平台;仪表平台转动惯量在试

验前利用配重块调整与卫星一致；仪表平台与气浮球的法兰面螺接；三轴气浮台通过在轴承座与气浮球之间形成的气膜，产生气体压力抵消气浮球和仪表平台的重力，将仪表平台连同气浮球浮起，以1:1动力学模拟卫星在轨微干扰力矩环境下的三轴自由转动；气浮球采用3/4球；飞轮组合10的状态与星上状态一致。

[0011] 优选地，还包括照明光源、星点分划板、准直物镜；

[0012] 照明光源发出的亮度均匀光线，经过滤光片后照亮位于准直物镜焦平面上的星点分划板，星点分划板上所模拟的星点经准直物镜后以平行光射出，在被测相机的入瞳处形成一幅完整的遥感目标像，实现对目标的成像模拟；

[0013] 照明光源采用积分球与红外黑体组合的方式来实现不同探测谱段目标的模拟，其中积分球光谱范围涵盖 $0.4\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ ，采用红外黑体作为红外光源涵盖 $2\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 的中波辐射模拟；

[0014] 星点分划板上刻有透光圆点，准直物镜采用大视场离轴三反射系统的方式实现大视场无穷远处的目标模拟，目标辐强度通过调节照明光源的发光亮度来模拟。

[0015] 优选地，光轴测量系统2设置在调节机构3上；

[0016] 调节机构3包括相连的水平位置调整、竖直位置调整、方位角度调整、俯仰角度调整；

[0017] 调节机构3能够调整光轴测量系统2的光轴与成像相机7的光轴一致，使光轴测量系统2的平行光管的出瞳与成像相机7的入瞳重合。

[0018] 优选地，光电自准直仪5模拟星敏感器，与陀螺组合9配合进行姿态确定，为三轴气浮台1姿态闭环控制提供姿态信息。

[0019] 根据本发明提供的一种卫星图像导航与配准全物理试验测试方法，包括：扫描机构前馈力矩补偿试验测试步骤；

[0020] 所述扫描机构前馈力矩补偿试验测试步骤，包括：

[0021] 步骤1：将成像相机7、太阳帆板驱动模拟机构8、飞轮组合10按照装星状态安装固定于三轴气浮台1的仪表平台上，仪表平台的转轴运动极性与星上状态保持一致，然后进行三轴气浮台1质心的平衡调节；

[0022] 步骤2：对转动部件进行转动静不平衡测试，必要时进行静不平衡调整，使转动部件的质心通过转轴中心；所述转动部件包括成像相机7、太阳帆板驱动模拟机构8；

[0023] 步骤3：采用陀螺组合9和光电自准直仪5作为姿态测量设备，三轴气浮台1的台上控制计算机作为控制器，飞轮组合10作为执行机构，形成稳态闭环控制系统；成像相机7开机后，实时向飞轮组合10输出前馈控制力矩，抵消成像相机7运动的干扰。

[0024] 根据本发明提供的一种卫星图像导航与配准全物理试验测试方法，包括台上扫描镜姿态运动补偿图像导航与配准试验测试步骤；

[0025] 所述台上扫描镜姿态运动补偿图像导航与配准试验测试步骤，包括：

[0026] 步骤1：在成像相机7前馈力矩补偿实现稳定度要求的基础上进行三轴气浮台1的台体姿态确定，评估姿态变化对成像相机7的相机图像导航与配准精度的影响；

[0027] 步骤2：对于成像相机7，实时计算姿态变化对成像相机7的相机视轴的影响，将指向误差转化为成像相机7的扫描镜角度的补偿量，叠加至成像相机7的驱动器中，实时补偿修正扫描镜扫描指向；

[0028] 步骤3:成像相机7对多谱段的光轴测量系统2直接成像,将成像相机7实施图像导航与配准后的成像数据下传至地面处理评估工作站中,验证台体存在姿态变化时遥感图像中的目标成像点变化量。

[0029] 根据本发明提供一种卫星图像导航与配准全物理试验测试方法,包括一体化图像导航与配准补偿应用试验测试步骤;

[0030] 所述一体化图像导航与配准补偿应用试验测试步骤,包括:

[0031] 步骤1:对星上姿态、成像相机7的扫描镜指向进行控制和测量试验,评估星上姿态、成像相机7的扫描镜指向对图像导航与配准精度的影响;

[0032] 步骤2:通过成像相机7对多谱段的光轴测量系统2直接成像,下传成像相机7的成像数据至地面处理评估工作站中,并下传图像配准辅助数据;其中,图像配准辅助数据包括时间、姿态数据、陀螺数据、光电自准直仪数据、相机转角测量数据、相机成像行号、相机曝光时间;

[0033] 步骤3:将成像数据依时间先后构建图像帧序列,将下传的图像配准辅助数据的变化值在时间上与图像帧采集点对应一致;

[0034] 步骤4:选择图像帧序列中的第一成像帧为基准,对后续成像帧根据图像配准辅助数据中的卫星姿态,基于成像相机7的相机成像模型进行相机不同方位入射光束的成像非线性修正,获得所需配准的两幅图像对应像元的实际偏移量,进行图像导航与配准处理应用。

[0035] 与现有技术相比,本发明具有如下的有益效果:

[0036] 本发明可以有效模拟卫星在轨状态以及星地一体化的对应关系,使得卫星在发射前能够方便准确的对图像导航与配准技术进行有效性评估和性能验证。

## 附图说明

[0037] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0038] 图1为卫星图像导航与配准全物理试验装置的结构示意图。

[0039] 图2为卫星图像导航与配准全物理试验测试方法的原理图。

[0040] 图中:

[0041] 1.三轴气浮台;2.光轴测量系统;3.调节机构;4.无线通信设备;5.光电自准直仪;6.相机安装板;7.成像相机;8.太阳帆板驱动模拟机构;9.陀螺组合;10.飞轮组合。

## 具体实施方式

[0042] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变化和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0043] 本发明公开了一种卫星图像导航与配准全物理试验装置及测试方法,其试验装置包括三轴气浮台1、光轴测量系统2、调节机构3、无线通信设备4、光电自准直仪5、相机安装板6,以及星上参试设备如成像相机含扫描机构7、太阳帆板驱动模拟机构8、陀螺组合9、飞

轮组合10等,模拟卫星在轨工作状态,进行系统级试验。本发明可对小面阵、二维扫描成像相机或大口径长线列、大面阵成像相机等不同载荷进行图像导航与配准气浮台全物理试验验证和性能测试,确保星上图像导航与配准技术方案和系统指标满足星上要求。

[0044] 本发明给出了遥感卫星高精度图像导航与配准技术和性能评估的试验装置及测试方法。因为图像导航与配准技术涉及到整星多个分系统,关联复杂,为了精确测定或评估在轨工作性能,有必要在实验室条件下模拟在轨工作环境和模式,对其进行性能测量和评价,以验证其是否满足设计和任务要求。

[0045] 整个装置主要由以下几部分组成,高精度高承载三轴气浮台1、光轴测量系统2、调节机构3、无线通信设备4、光电自准直仪5、相机安装板6,以及星上参试设备如成像相机含扫描机构7、太阳帆板驱动模拟机构8、陀螺组合9、飞轮组合10等,如图1所示。

[0046] 三轴气浮台承载能力5吨以上,系统的综合干扰力矩优于 $30\text{g}\cdot\text{cm}$ ,星上参试设备如相机含扫描机构7、太阳帆板驱动模拟机构8、陀螺组合9、飞轮组合10等按照装星状态安装在气浮台仪表平台上,对仪表平台含单机进行质心调平衡和转动惯量调整,实现仪表平台与卫星的转动惯量参数一致,1:1模拟卫星在轨姿态控制状态。

[0047] 考虑到太阳帆板驱动模拟机构需在实验室条件下进行重力卸载,其转动轴设计为指天方向,作为约束条件进行其它运动部件的布局,如图1;相机视轴平行于地面指向侧面,对准光轴测量系统,保持台上转动部件的转轴运动极性与星上状态一致。

[0048] 如图1和2,对于小面阵、二维扫描成像型相机,其扫描镜转动机构的转动惯量设计较小,通常小于 $0.3\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ,一般是直接对姿态控制飞轮采用反馈和前馈力矩补偿联合方案,抵消相机扫描机构运动的干扰。台体姿态控制软件载体为台上控制计算机,包括三个模块:①光电自准直仪与陀螺数据融合姿态确定模块。模拟卫星的高精度姿态确定方案,确保台体姿态确定精度达到卫星技术指标;②飞轮稳态闭环控制模块。模拟卫星的高指向精度姿态控制方案,保证台体姿态指向控制方案与卫星一致。③前馈力矩补偿模块。模拟卫星前馈力矩补偿功能,保证台体姿态稳定度达到卫星高稳定度姿态控制指标。试验时通过台体姿态遥测数据评测卫星姿态稳定度。

[0049] 单纯依靠姿态控制一般不能满足高精度图像导航与配准精度需求,对于小面阵、二维扫描成像型相机,台上图像导航与配准补偿软件进一步利用台体姿态信息,计算扫描镜转角的补偿量,叠加至相机扫描机构驱动器中,实时补偿修正扫描镜扫描指向,使遥感图像已经完成图像导航与配准,这可以通过相机对光轴测量系统直接成像评估台上补偿效果,及综合技术实施方案的有效性。

[0050] 对于大口径长线列或大面阵成像相机,其扫描镜尺寸一般相对较大,所以转动机构的转动惯量设计也随之增加,一般采取专用力矩补偿轮进行前馈力矩补偿,抵消相机扫描机构运动的干扰,可以按照卫星设计技术方案进行三轴气浮台物理仿真验证。

[0051] 大口径长线列或大面阵成像相机存在光学畸变,若台上修正扫描镜指向只能修正探测器中心像元的视线指向,不适合对所有像元指向的修正,无法在轨通过补偿扫描镜指向进行图像配准与定位,所以对于这类相机的图像导航与配准技术是一般采用对卫星和相机在星上应用高精度控制和高精度测量技术,将测量的图像配准补偿参数下传至地面,进行图像导航与配准处理应用。可以按照卫星设计技术方案进行三轴气浮台物理仿真验证,模拟卫星在轨姿态变化,星载相机对多谱段光轴测量系统直接成像,下传成像数据至地面

处理评估工作站中,并同时下传图像配准辅助数据如时间、姿态数据、陀螺数据、光电自准直仪数据、相机转角测量数据、相机成像行号、相机曝光时间等。将下传的图像配准辅助数据的变化值在时间上与图像采集点对应一致,选择第一成像帧为基准,进行相机不同方位入射光束的成像非线性修正,获得所需配准的两幅图像对应像元的实际偏移量,进行图像导航与配准处理应用;测试多种工况进行统计,即获得一体化图像导航与配准补偿技术的性能测试。

[0052] 在优选例中,本发明所要解决的技术问题在于提供一种三轴稳定光学遥感卫星高精度图像导航与配准全物理试验装置及测试方法,用于星地一体化图像导航与配准技术方案验证和性能评估测试。

[0053] 为实现上述的发明目的,本发明一个方面,提出一种卫星图像导航与配准全物理试验装置,包括如下:高精度高承载三轴气浮台1、多谱段光轴测量系统2、转角和位置可调节机构3、无线通信设备4、光电自准直仪5、相机安装板6,以及星上参试设备如含扫描机构导热成像相机7、太阳帆板驱动模拟机构8、陀螺组合9、飞轮组合10等,按星上状态安装在气浮台仪表平台上;参试软件包含台体姿态控制软件、相机扫描镜驱动软件、扫描镜姿态运动补偿软件、图像导航与配准处理与评估软件等,与卫星设计状态一致。

[0054] 高精度高承载三轴气浮台按星上状态将相机、活动部件等安装在仪表平台上,含单机的仪表平台转动惯量调整与卫星一致,通过在轴承座和气浮球之间形成气膜,产生气体压力抵消气浮球和仪表平台的重力,将其浮起,1:1模拟卫星在轨微干扰力矩环境下的三轴自由转动;台体姿态控制采用陀螺和光电自准直仪作为测量设备,台上控制计算机、飞轮等与星上状态一致,形成一套稳态闭环控制系统进行相机综合成像试验。

[0055] 多谱段光轴测量系统的照明光源采用积分球与红外黑体组合的方式来实现不同探测谱段目标的模拟,其中积分球光谱范围可涵盖 $0.4\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ ,采用黑体作为红外光源可涵盖 $2\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 的中波辐射模拟;星点分划板上刻有微小透光圆点,采用准直物镜实现无穷远处的目标模拟,目标辐强度通过调节光源的发光亮度来模拟。

[0056] 转角和位置可调节机构具有水平位置调整、竖直位置调整、方位角度调整、俯仰角度调整能力,能快速调整光轴测量系统本体光轴与被测相机光轴的一致性;二维平移用于调整光轴测量系统与被测相机之间的高度与距离,以使光轴测量系统平行光管的出瞳与被测相机的入瞳重合,同时可通过锁紧螺钉进行锁紧和限位。

[0057] 光电自准直仪模拟星敏感器,与陀螺组合联合姿态确定,不仅为台体姿态闭环控制提供姿态信息,也同时用于台上扫描镜姿态运动补偿的图像导航与配准试验,或者台下一体化图像导航与配准补偿应用试验。

[0058] 根据本发明的另一方面,还提供一种对卫星图像导航与配准进行测试的方法,包括三类测试:1相机前馈力矩补偿试验测试;2台上扫描镜姿态运动补偿的图像导航与配准试验测试;3台下一体化图像导航与配准补偿应用试验测试。

[0059] 其中,相机前馈力矩补偿试验测试包括以下步骤:

[0060] 步骤1:将相机扫描机构、太阳帆板驱动模拟机构、飞轮等运动部件按照装星状态安装固定于气浮台仪表平台上,转轴运动极性与星上状态保持一致,然后进行气浮台质心精调平衡。

[0061] 步骤2:对大转动惯量运动机构比如相机扫描机构、太阳帆板驱动模拟机构含惯量

盘进行转动静不平衡测试,必要时进行静不平衡调整,使转动部件的质心通过转轴中心。

[0062] 步骤3:相机扫描机构转动会干扰台体的姿态稳定度,一方面台体姿态控制系统采用陀螺和光电自准直仪作为姿态测量设备,台上控制计算机作为控制器,飞轮作为执行机构,形成一套稳态闭环控制系统;另一方面相机扫描机构开机后,根据相机扫描工作模式实时向飞轮或专用力矩补偿轮输出前馈控制力矩,抵消相机扫描机构运动的干扰。通过台体姿态遥测数据评测卫星姿态稳定度是否达到卫星指标要求。

[0063] 台上扫描镜姿态运动补偿图像导航与配准试验测试包括以下步骤:

[0064] 步骤1:星上转动部件多,相机扫描机构运动干扰大,在相机前馈力矩补偿实现稳定度要求的基础上进行台体姿态确定,评估姿态变化对相机图像导航与配准精度的影响。

[0065] 步骤2:对于小面阵、二维扫描成像型相机,台上实时计算姿态变化对相机视轴的影响,将指向误差转化为扫描镜角度的补偿量,叠加至相机扫描机构驱动器中,实时补偿修正扫描镜扫描指向,即台上对相机实施图像导航与配准技术应用,支持下传的遥感图像已经完成几何应用的修正补偿。

[0066] 步骤3:相机对多谱段光轴测量系统直接成像,下传台上对相机实施图像导航与配准技术后的成像数据至地面处理评估工作站中,验证台体存在姿态变化时遥感图像中的目标成像点变化量;

[0067] 步骤4:测试多种工况进行统计,即获得试验条件下的图像导航配准精度。

[0068] 台下一体化图像导航与配准补偿应用试验测试包括以下步骤:

[0069] 步骤1:大口径长线列或大面阵成像相机存在光学畸变,修正扫描镜指向只能修正探测器中心像元的视线指向,不适合对所有像元指向的修正,对星上姿态、扫描镜指向等进行高精度控制和高精度测量等试验,评估其对图像导航与配准精度的影响。

[0070] 步骤2:通过相机对多谱段光轴测量系统直接成像,下传成像数据至地面处理评估工作站中,并同时下传图像配准辅助数据如时间、姿态数据、陀螺数据、光电自准直仪数据、相机转角测量数据、相机成像行号、相机曝光时间等;

[0071] 步骤3:依时间先后构建图像帧序列,将下传的图像配准辅助数据的变化值在时间上与图像采集点对应一致;

[0072] 步骤4:选择第一成像帧为基准,对后续成像帧根据图像配准辅助数据中的卫星姿态等变化量,基于相机成像模型进行相机不同方位入射光束的成像非线性修正,获得所需配准的两幅图像对应像元的实际偏移量,进行图像导航与配准处理应用;测试多种工况进行统计,即获得一体化图像导航与配准补偿技术的性能测试。

[0073] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变化或修改,这并不影响本发明的实质内容。在不冲突的情况下,本申请的实施例和实施例中的特征可以任意相互组合。



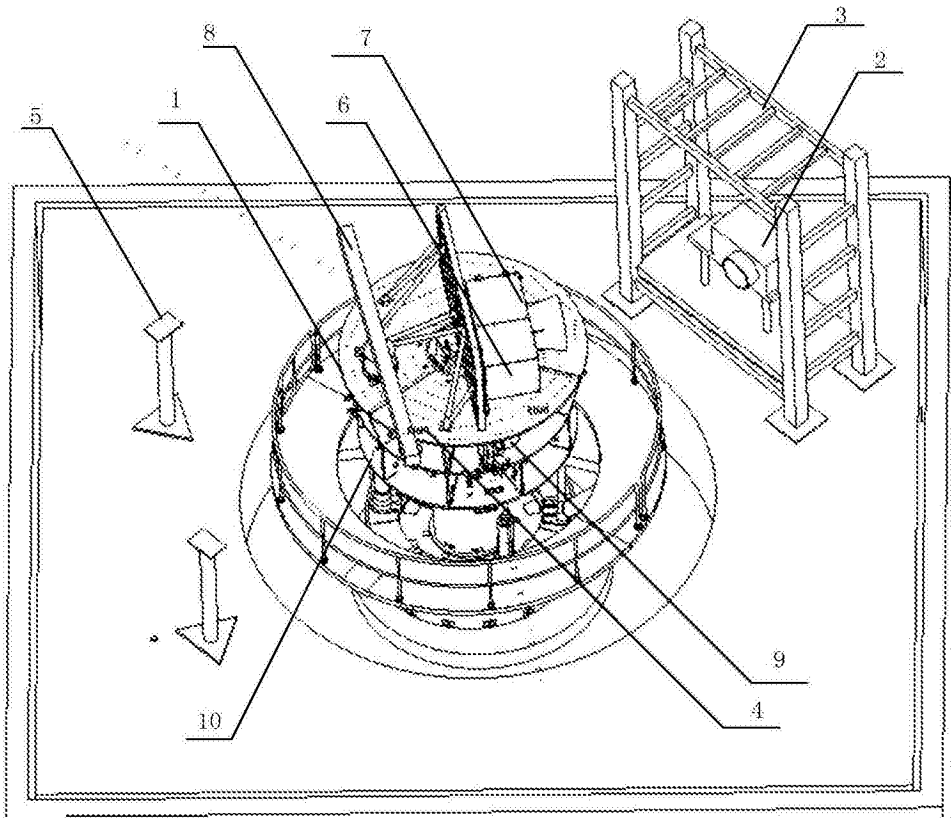


图1

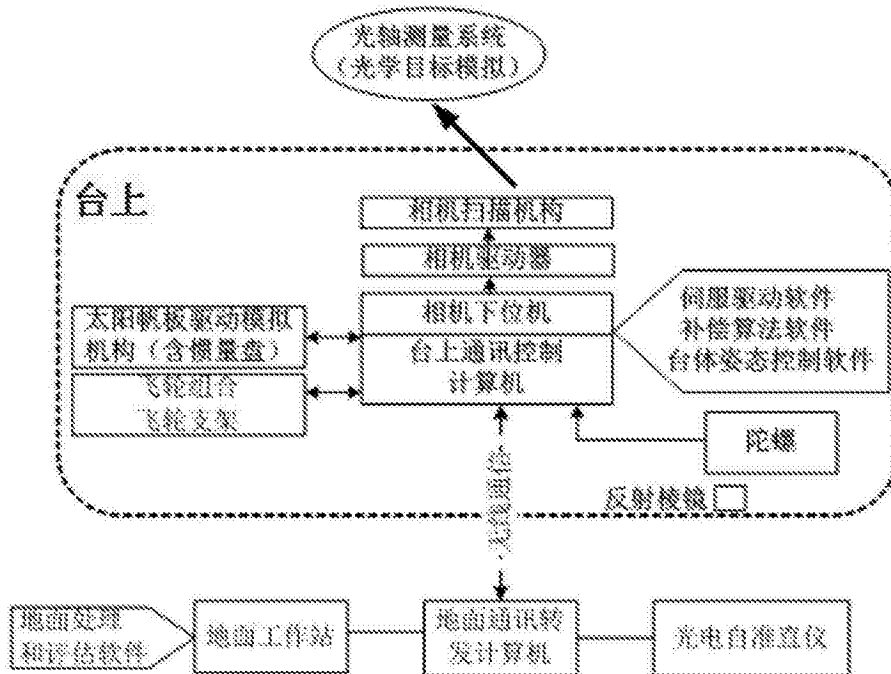


图2