



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103676974 B

(45) 授权公告日 2016.04.06

(21) 申请号 201310697946.3

(22) 申请日 2013.12.18

(73) 专利权人 中北大学

地址 030051 山西省太原市学院路3号

(72) 发明人 唐军 王晨光 刘俊 石云波

李杰 任建斌 丁宇凯 王飞

郭浩 曹卫达

(74) 专利代理机构 太原科卫专利事务所(普通合伙) 14100

代理人 朱源

(51) Int. Cl.

G05D 3/12(2006.01)

(56) 对比文件

CN 2700775 Y, 2005.05.18,

CN 101441169 A, 2009.05.27,

CN 101441171 A, 2009.05.27,

CN 101661295 A, 2010.03.03,

CN 202394987 U, 2012.08.22,

R. Wehner. Desert ant navigation: how miniature brains solve complex tasks.

《Journal of Comparative Physiology A-Neuroethology Sensory Neural and Behavioral Physiology》. 2003, 第189卷(第8期), 第579-588页.

范之国等. 仿沙蚁POL-神经元的偏振信息检测方法的研究. 《仪器仪表学报》. 2008, 第29卷(第4期), 第745-749页.

审查员 肖琛

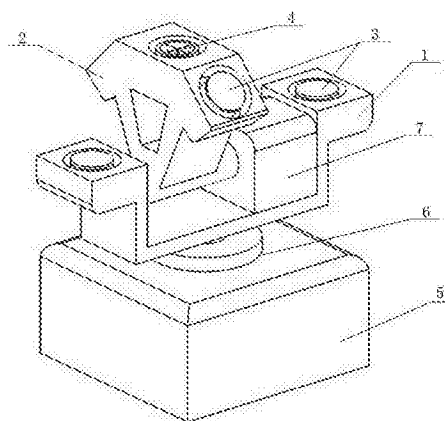
权利要求书2页 说明书8页 附图8页

(54) 发明名称

基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置

(57) 摘要

本发明涉及太阳跟踪装置,具体为一种基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置。本发明偏振光检测传感器仿照昆虫复眼导航模型,实现大气偏振模式中偏振角度和偏振度的提取。中央控制信息处理单元根据水平跟踪物理结构单元上两偏振光传感器输出的偏振角度与太阳方位角之间的夹角对水平伺服电机执行机构进行驱动,来实现了太阳方位角方向的跟踪;然后中央控制信息处理单元根据垂直跟踪物理结构单元上两偏振光传感器输出的偏振度信息来控制垂直伺服电机执行机构转动,来实现了太阳高度角方向的跟踪;最后通过自然光传感器上输出,对两个平台进行微调,借此,本发明成功实现了太阳的跟踪。



1.一种基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置,其特征在于:包括底座(5),所述底座(5)上安装有执行水平运动的伺服电机(6),所述执行水平运动的伺服电机(6)的输出轴连接有水平支架(1),所述水平支架(1)上安装有至少一个偏振光信息检测传感器(3),所述安装在水平支架(1)上的偏振光信息检测传感器(3)的光入射面垂直向上;所述水平支架(1)上安装有执行垂直运动的伺服电机(7),所述执行垂直运动的伺服电机(7)的输出轴连接有垂直支架(2),所述垂直支架(2)的前后两端上分别安装有关于垂直支架(2)的轴线对称的偏振光信息检测传感器(3),所述安装在垂直支架(2)上的两个偏振光信息检测传感器(3)的轴线处于同一平面、且分别与水平面形成的两个锐角相同,所述锐角为 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$;

所述底座(5)内安装有中央控制信息处理单元,所述中央控制信息处理单元用于执行以下流程:

I、太阳水平方位角的解算与水平跟踪

首先,安装在水平支架(1)上的偏振光信息检测传感器(3)的四个通道输出分别为如式(1):

$$U_n(\theta_0) = KI(1 + d \cos(2\theta_0 - 2\theta_n)) \quad (n=1, 2, 3, 4) \quad (n=1, 2, 3, 4) \dots (1)$$

其中,I是总光强,d是偏振度, θ_0 是E矢量方向, θ_n 是偏振片偏振透过方向相对参考坐标方向的夹角,K为一常数,由偏振器件的透过率消光比决定;

设定 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 和 θ_4 分别为 0° 、 90° 、 60° 和 150° ,则四个通道的输出分别为:

$$U_1(\theta_0) = KI(1 + d \cos(2\theta_0)) \dots \dots \dots (2) \quad U_2(\theta_0) = KI(1 - d \cos(2\theta_0)) \dots \dots \dots (3)$$

$$U_3(\theta_0) = KI(1 + d \cos(2\theta_0 - \frac{2\pi}{3})) \dots \dots \dots (4)$$

$$U_4(\theta_0) = KI(1 - d \cos(2\theta_0 - \frac{2\pi}{3})) \dots \dots \dots (5)$$

然后,根据公式(2)-(5)获得被测天空区域偏振光的E矢量方向 θ_0 和偏振度d,即:

$$\theta_0 = \frac{1}{2} \arctan(\frac{\sqrt{3}}{3} + \frac{2\sqrt{3}}{3} (\frac{U_3(\theta_0) - U_4(\theta_0)}{U_1(\theta_0) - U_2(\theta_0)})) \dots \dots \dots (6);$$

$$d = \frac{U_1(\theta_0) - U_2(\theta_0)}{U_1(\theta_0) + U_2(\theta_0)} \cdot \frac{1}{\cos(\arctan(\frac{\sqrt{3}}{3} + \frac{2\sqrt{3}}{3} (\frac{U_3(\theta_0) - U_4(\theta_0)}{U_1(\theta_0) - U_2(\theta_0)}))} \dots \dots \dots (7);$$

最后,中央控制信息处理单元根据获得的E矢量方向 θ_0 ,控制执行水平运动的伺服电机(6)驱动水平支架(1)水平旋转的角度为 $\pm \theta_0$,即垂直支架(2)在水平面的投影线与太阳子午线在水平面的投影线重合;

II、太阳高度角的检测及垂直跟踪

安装在垂直支架(2)上的两个偏振光信息检测传感器(3)通过上述I中相同的解算方法分别获得偏振度 d_1 和偏振度 d_2 ,然后对偏振度 d_1 和偏振度 d_2 进行差值绝对值运算后得到差值结果,将差值结果与设定的阈值进行比较,当差值结果大于等于阈值时,说明垂直支架

(2)的轴线偏离太阳较远,需要控制执行垂直运动的伺服电机(7)驱动垂直支架(2)向偏振度小的偏振光信息检测传感器(3)方向旋转;直至当差值结果小于阈值时,即认为垂直支架(2)的轴线方向正对太阳,完成垂直跟踪;即完成对太阳的跟踪。

2.根据权利要求1所述的基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置,其特征在于:所述垂直支架(2)上安装有具有四象限光电二极管的自然光检测传感器(4),所述自然光检测传感器(4)的轴线与垂直支架(2)的轴线重合;

所述中央控制信息处理单元内用于执行的流程还包括:

Ⅲ、自然光检测传感器(4)中的四象限光电二极管用于检测经过Ⅱ调整完成后的自然光在四象限光电二极管入射光平面的分布情况,当太阳光斑在四象限光电二极管入射光平面的四象限的分布不均匀时,四个象限分别输入到中央控制单元的光电流不相等,中央控制单元发出指令控制执行垂直运动的伺服电机(7)驱动垂直支架(2)旋转进行微调,直至太阳光斑在四象限光电二极管入射光平面中心形成均匀分布,则完成对太阳的跟踪。

3.根据权利要求1或2所述的基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置,其特征在于:所述安装在垂直支架(2)上的两个偏振光信息检测传感器(3)的轴线与水平面形成的两个锐角均为 45° 。

4.根据权利要求1或2所述的基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置,其特征在于:所述中央控制信息处理单元内用于执行流程的Ⅰ中,最后,中央控制信息处理单元间隔时间段获得一次E矢量方向 θ_0 ,根据每次获得的E矢量方向 θ_0 与设定的阈值进行比较,当E矢量方向 θ_0 大于等于设定阈值时,中央控制信息处理单元发出指令控制执行水平运动的伺服电机(6)驱动水平支架(1)水平旋转的角度为 $\pm\theta_0$,即垂直支架(2)在水平面的投影线与太阳子午线在水平面的投影线重合;当E矢量方向 θ_0 小于设定阈值时,无动作。

5.根据权利要求4所述的基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置,其特征在于:所述水平支架(1)呈U型。

6.根据权利要求5所述的基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置,其特征在于:所述水平支架(1)的两个端面上分别安装有偏振光信息检测传感器(3)。

基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置

技术领域

[0001] 本发明涉及太阳跟踪装置,具体为一种基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置。

背景技术

[0002] 长期以来,能源是人类赖以生存和发展的物质基础。太阳能在能源发展中具有明显的优势:无污染性、经济性、储量丰富、普遍性。正是由于这些特点,太阳能的合理开发利用成为当前世界各国广泛关注的热点技术。

[0003] 然而,尽管太阳能存在以上的优势,但是太阳能的利用方面还存在很多的问题。太阳能具有分散性、不稳定性、效率低和成本高的缺点,这些缺点对太阳能的收集和利用提出了更高的要求。如何最大限度的提高太阳能的利用率,仍是国内外学者的研究热点。太阳自动追踪系统为解决这一问题提供了可能。不论哪种太阳能收集设备,只要它的集热装置能始终与太阳光的照射方向垂直,那么它就可以在有限的使用面积内收集更多的太阳能,使其保持最大的采热效率。而太阳每时每刻都是在运动着,如果集热装置要收集更多的太阳能,那就必须要时刻追踪太阳的位置。

[0004] 目前,国内外太阳跟踪技术的方法可以分为三种:①视日运动轨迹跟踪;②光电跟踪;③视日运动轨迹跟踪和光电跟踪相结合。视日运动轨迹跟踪是开环的程序控制跟踪,其跟踪算法计算过程非常复杂;而光电跟踪灵敏度高,结构设计方便,但受天气的影响很大,如果在稍长时间段里出现乌云遮住太阳的情况,太阳光线往往照不到光电管上,导致跟踪装置无法对准太阳,甚至会引起执行机构的错误动作。通常情况下二者结合,可以获得较满意的跟踪结果。这种组合跟踪方案跟踪精度高,工作过程稳定,但在应对阴雨天气情况下精度将无法保证。如何降低天气的影响,提高跟踪精度,已成为当前太阳跟踪技术领域研究热点。

[0005] 生物学研究表明,沙蚁、蜜蜂、蟋蟀、蝗虫等昆虫通过利用其复眼结构以及子眼内部的偏振敏感单元对天空偏振光模式进行感知来实现精确的导航。而实现如此高性能导航的关键在于其生物体所具备的复眼结构,其敏感神经元(POL-神经元)具有高的偏振对比度,检测鲁棒性好,具有很高的容错率,可实现高精度的大气偏振信息提取,结合导航算法,可以得到方位信息。同时,太阳光散射形成的大气偏振模式具有极强的规律性,这种规律中蕴含了太阳位置信息,本发明就是以此规律为科学依据,通过大气偏振信息的检测,结合算法来实现太阳的跟踪。

[0006] 大气偏振模式的分布规律:太阳辐射出的光线经过大气层的散射,到达地球表面的光线成了自然光和线偏振光的叠加,形成了具有稳定分布的偏振态。由于稳定分布的偏振态是针对整个太阳光的辐射光谱,其分布具有不易受电磁/人为干扰、全天候的特点,且分布沿着整个地球的表面,其大气偏振态特征矢量信息与太阳间的相对位置具有极强的规律性,可为偏振光检测提供一个全球范围内可靠的信息载体。经过研究发现,任意观测位置下的大气存在一种相对稳定的偏振模式,其表现为两条稳定分布的对称线,一条是太阳子午线以及逆太阳子午线SM-ASM,大气偏振模式的偏振度关于SM-ASM对称分布,E-矢量关于

SM-ASM逆对称分布;另一条是与太阳角距为 90° 的最大偏振线,大气偏振模式关于最大偏振线对称,在偏振线所在的位置,偏振度最大,距离对称线越远,偏振度越小,如图1、2所示,图中短线表示E矢量,线的粗细程度表示偏振度大小,并且天空某观测点的E-矢量总垂直于由太阳、观测者和该点所组成的平面。在中国,随着太阳不断向西运动(大约每小时 15°),太阳高度角和水平方位角不断变化,对称线和整个大气偏振模式以太阳为中心旋转,但大气偏振模式始终关于SM-ASM以及最大偏振线对称分布特性却始终保持不变。

发明内容

[0007] 本发明为了解决现有的太阳跟踪装置不适用于阴雨天气、并且计算量大而复杂的问题,提供了一种新型的基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置。

[0008] 本发明是采用如下技术方案实现的:

[0009] 一种基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置,包括底座,所述底座上安装有执行水平运动的伺服电机,所述执行水平运动的伺服电机的输出轴连接有水平支架,所述水平支架上安装有至少一个偏振光信息检测传感器,所述安装在水平支架上的偏振光信息检测传感器的光入射面垂直向上(即指向天顶);所述水平支架上安装有执行垂直运动的伺服电机,所述执行垂直运动的伺服电机的输出轴连接有垂直支架,所述垂直支架的前后两端上分别安装有关于垂直支架的轴线对称的偏振光信息检测传感器,所述安装在垂直支架上的两个偏振光信息检测传感器的轴线处于同一平面、且分别与水平面形成的两个锐角相同(即安装在垂直支架上的两个偏振光信息检测传感器的光入射面与水平面的锐角夹角相同),所述锐角为 $30^\circ \sim 60^\circ$ 。

[0010] 所述底座内安装有中央控制信息处理单元,所述中央控制信息处理单元内编写有控制程序,所述控制程序的流程如下:

[0011] I、太阳水平方位角的解算与水平跟踪

[0012] 首先,安装在水平支架上的偏振光信息检测传感器的四个通道输出分别为如式(1):

[0013] $U_n(\theta_0) = KI(1 + d \cos(2\theta_0 - 2\theta_n))$ ($n=1, 2, 3, 4$) ($n=1, 2, 3, 4$)... (1)

[0014] 其中,I是总光强,d是偏振度, θ_0 是E矢量方向, θ_n 是偏振片偏振透过方向相对参考坐标方向的夹角,K为一常数,由偏振器件的透过率消光比决定;

[0015] 然后,获得被测天空区域偏振光的E矢量方向 θ_0 和偏振度d,即:

[0016]
$$\theta_0 = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{\sqrt{3}}{3} + \frac{2\sqrt{3}}{3} \left(\frac{U_3(\theta) - U_4(\theta)}{U_1(\theta) - U_2(\theta)}\right)\right) \dots\dots\dots (6);$$

[0017]
$$d = \frac{U_1(\theta) - U_2(\theta)}{U_1(\theta) + U_2(\theta)} \cdot \frac{1}{\cos\left(\arctan\left(\frac{\sqrt{3}}{3} + \frac{2\sqrt{3}}{3} \left(\frac{U_2(\theta) - U_4(\theta)}{U_1(\theta) - U_2(\theta)}\right)\right)\right)} \dots\dots\dots (7);$$

[0018] 最后,中央控制信息处理单元根据获得的E矢量方向 θ_0 控制执行水平运动的伺服电机驱动水平支架水平旋转的角度为 $\pm \theta_0$,即垂直支架在水平面的投影线与太阳子午线在水平面的投影线重合;

[0019] II、太阳高度角的检测及垂直跟踪

[0020] 安装在垂直支架上的两个偏振光信息检测传感器通过上述I中相同的解算方法分别获得偏振度 d_1 和偏振度 d_2 ,然后对偏振度 d_1 和偏振度 d_2 进行差值绝对值运算后得到差值结果,将差值结果与设定的阈值进行比较,当差值结果大于等于阈值时,说明垂直支架的轴线偏离太阳较远,需要控制执行垂直运动的伺服电机驱动垂直支架向偏振度小的偏振光信息检测传感器方向旋转;直至当差值结果小于阈值时,即认为垂直支架的轴线方向正对太阳,完成垂直跟踪;即完成对太阳的跟踪。

[0021] 工作时,本发明采用被动测量大气偏振模式分布信息,解算太阳水平方位角(用于水平跟踪)和高度角(用于垂直跟踪)的方式实现太阳自动跟踪。如图3所示,在水平支架的轴线方向上至少安装一个偏振光信息检测传感器,偏振光信息检测传感器的光入射面垂直向上(即传感器检测方向正对天顶),用于检测大气偏振模式E矢量信息,结合算法计算E矢量与太阳子午线的夹角(即E矢量方向 θ_0),控制执行水平运动的伺服电机动作,使水平支架的轴线与太阳子午线在大地水平面的投影相垂直,即垂直支架在水平面的投影线与太阳子午线在水平面的投影线重合,完成水平跟踪。

[0022] 如图4所示,将垂直支架嵌入安装在水平支架上。同时,在垂直跟踪单元上安装两个偏振光信息检测传感器,两个偏振光信息检测传感器的轴线处于同一平面、且分别与水平面形成的两个锐角相同,所述锐角为 $30\sim 60^\circ$,优选为 45° ,用于检测大气偏振模式的E矢量方向和偏振度信息。当两个偏振光信息检测传感器获得的偏振度大小不相等时,中央控制信息处理单元控制执行垂直运动的伺服电机动作,直至偏振度大小相等时停止动作,完成垂直跟踪。该设计思想源于大气偏振模式的对称分布,当以太阳为中心时,大气偏振模式分布应为一系列的同心圆对称分布,同一纬度分布的同心圆上的偏振度大小相等,方向相反,如图1所示,因此,此时在理论上当两个偏振光信息检测传感器检测到的偏振度差值为零时,垂直支架的轴线应正对(指向)太阳。

[0023] 关于偏振光信息检测传感器,本领域技术人员可以基于沙蚁生物模型自行独立设计或定制国内科研机构现有成熟产品,如图7所示。偏振光信息检测传感器由一个四象限偏振片、一个四象限光电二极管和放大滤波电路组成,包括四个输出通道。

[0024] 优选地,本发明还设置有微调对准机构,优化设计如下:

[0025] 所述垂直支架上安装有具有四象限光电二极管的自然光检测传感器,所述自然光检测传感器的轴线与垂直支架的轴线重合。

[0026] 所述中央控制信息处理单元内的控制程序还包括:Ⅲ、自然光检测传感器中的四象限光电二极管用于检测经过Ⅱ调整完成后的自然光在四象限光电二极管入射光平面的分布情况,当太阳光斑在四象限光电二极管入射光平面的四象限的分布不均匀时,四个象限分别输入到中央控制单元的光电流不相等,中央控制单元发出指令控制执行垂直运动的伺服电机驱动垂直支架旋转进行微调,直至太阳光斑在四象限光电二极管入射光平面中心形成均匀分布,则完成对太阳的跟踪。这样进一步地准确对太阳位置进行跟踪。

[0027] 进一步优选地,本装置在进行水平跟踪的过程中,由于太阳位置的不断变化,执行水平运动的伺服电机需要时刻不停的进行旋转,为了延长伺服电机的使用寿命,减少伺服电机的运动强度,又进行了如下优化:

[0028] 所述中央控制信息处理单元内的控制程序的I中,最后,中央控制信息处理单元间隔时间段获得一次E矢量方向 θ_0 ,根据每次获得的E矢量方向 θ_0 与设定的阈值进行比较,当E

矢量方向 θ_0 大于等于设定阈值时,中央控制信息处理单元发出指令控制执行水平运动的伺服电机驱动水平支架水平旋转的角度为 $\pm\theta_0$,即垂直支架在水平面的投影线与太阳子午线在水平面的投影线重合;当E矢量方向 θ_0 小于设定阈值时,无动作。这样,执行水平运动的伺服电机可以间隔动作,也符合实际的应用。

[0029] 本发明从仿生学角度出发,依据沙漠蚂蚁复眼的解剖学、电生理学、仿生学方面的研究成果,利用大气中稳定的偏振模式,结合先进的微处理器控制技术、光电检测技术和信息处理方法,研制高精度、高稳定的仿生偏振光检测太阳实时跟踪装置。相比现有的太阳实时跟踪装置,具有原理新颖、结构精巧、精度高、算法简单等特点,在应对天气变化影响方面具有明显的技术优势,可有效解决现有装置结构复杂、算法繁琐、受天气影响大等问题,因而在太阳跟踪领域有着广阔的应用前景。

[0030] 本发明的优点如下:

[0031] 1、设计原理新颖,结构合理精巧

[0032] 本发明从仿生学角度出发,通过对生物模型的提取,成功设计了一种基于偏振光检测的太阳跟踪装置,相比于现有跟踪装置的体积大、结构复杂来说,本发明具有生物结构的精巧、重量轻、设计合理等特点。同时,本发明设计原理源于大气偏振模式的对称分布规律,通过深入挖掘其蕴含的太阳方位信息,并将其合理利用到太阳跟踪技术领域,充分体现了仿生、探索自然、工程应用的完美结合。

[0033] 2、检测精度高,抗干扰能力强

[0034] 本发明采用基于偏振光检测的方式实现太阳跟踪,偏振光检测不受气象条件变化的影响,即使在阴天、乌云遮挡、建筑物遮挡太阳的情况下仍可使用,具有更高的稳定性。同时,本发明在水平跟踪技术上使用了两个偏振光传感器(检测方向正对天顶)检测大气偏振模式E矢量,通过二者同时解算,大大提高检测精度及可靠性;在垂直跟踪技术方面,充分利用了大气偏振模式的分布对称规律,通过差值比对的方式保证了跟踪精度;此外,采用了高精度四象限光电二极管检测上述调整完成后的自然光分布情况,通过微调的方式保证了整体检测精度。

[0035] 3、解算算法简单,电路设计模块化。

[0036] 本发明对常规基于沙蚁POL-神经元模型的信号处理方法进行了改进,摒弃了传统对数处理的方式,采用减法及后续数据采集、信号处理解算得出的方位角和偏振度信息,算法更加简单、便于求解。同时,电路设计采用模块化思想,将前端传感、微弱信号调理放大、AD转换、后续数据处理解算、电机驱动均进行了模块化设计,更加方便调试与安装,提高了整体可靠性。

[0037] 本发明设计合理,基于自然偏振特性的仿生偏振光检测的太阳跟踪方法是一种新型自主跟踪方法,是以沙蚁等生物高度敏感的偏振视觉感知与导航功能为生物基础,以太阳光的自然偏振特性为理论依据,通过对大气偏振模式的检测和演算,实现太阳的跟踪。仿生偏振光检测技术的应用,可为太阳跟踪技术提供一个全新的思路。

附图说明

[0038] 图1是大气偏振模式分布规律的立体示意图。

[0039] 图2是大气偏振模式分布规律的在水平面的投影示意图。

- [0040] 图3是本发明的整体结构示意图。
- [0041] 图4是本发明的水平跟踪物理结构单元示意图。
- [0042] 图5是本发明的垂直跟踪物理结构单元的侧视图。
- [0043] 图6是本发明的垂直跟踪物理结构单元的主视图。
- [0044] 图7是偏振光检测传感器的结构示意图。
- [0045] 图8是本发明中央控制信息处理单元的控制系统框图。
- [0046] 图9是本发明中太阳水平方位角解算示意图。
- [0047] 图10是本发明中利于四象限光电二极管进行微调对准太阳的原理示意图。

具体实施方式

[0048] 下面结合附图对本发明的具体实施例进行详细说明。

[0049] 如图3所示,一种基于仿生偏振光检测的太阳跟踪装置,包括底座5,所述底座5上安装有执行水平运动的伺服电机6,所述执行水平运动的伺服电机6的输出轴连接有水平支架1,所述水平支架1上安装有至少一个偏振光信息检测传感器3,所述安装在水平支架1上的偏振光信息检测传感器3的光入射面垂直向上;所述水平支架1上安装有执行垂直运动的伺服电机7,所述执行垂直运动的伺服电机7的输出轴连接有垂直支架2,所述垂直支架2的前后两端上分别安装有关于垂直支架2的轴线对称的偏振光信息检测传感器3,所述安装在垂直支架2上的两个偏振光信息检测传感器3的轴线处于同一平面、且分别与水平面形成的两个锐角相同,所述锐角为 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。

[0050] 所述垂直支架2上安装有具有四象限光电二极管的自然光检测传感器4(属于现有公知结构),所述自然光检测传感器4的轴线与垂直支架2的轴线重合。

[0051] 所述底座1内安装有中央控制信息处理单元,所述中央控制信息处理单元内编写有控制程序,所述控制程序的流程如下,如图8所示:

[0052] I、太阳水平方位角的解算与水平跟踪

[0053] 首先,偏振光信息检测传感器模仿了昆虫复眼的偏振神经元结构,由两对极性方向相互垂直的四象限偏振片、一个四象限光电二极管和放大滤波电路组成,如图7所示。其检测到大气中的光是部分偏振光,包含自然光部分和线偏振光部分。根据沙蚁POL-神经元模型的信号处理方法及现有研究成果,安装在水平支架1上的偏振光信息检测传感器3的四个通道输出分别为如式(1):

[0054]
$$U_n(\theta_0) = KI(1 + d\cos(2\theta_0 - 2\theta_n)) \quad (n=1, 2, 3, 4) \quad (1)$$

[0055] 其中,I是总光强,d是偏振度, θ_0 是E矢量方向(如图9所示,即E矢量相对参考坐标方向的夹角,定义第一象限的偏振片偏振透过方向为参考坐标方向), θ_n 是偏振片偏振透过方向相对参考坐标方向的夹角,K为一常数,由偏振器件的透过率消光比决定;

[0056] 根据昆虫复眼POL处理方式,在设计时设置 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 和 θ_4 分别为 0° 、 90° 、 60° 和 150° ,则四个通道的输出分别为:

[0057]
$$U_1(\theta_0) = KI(1 + d\cos(2\theta_0)) \dots \dots \dots (2) U_2(\theta_0) = KI(1 - d\cos(2\theta_0)) \dots \dots \dots (3)$$

$$[0058] \quad U_3(\theta) = KI(1 + d \cos(2\theta - \frac{2\pi}{3})) \dots\dots\dots (4)$$

$$[0059] \quad U_4(\theta) = KI(1 - d \cos(2\theta - \frac{2\pi}{3})) \dots\dots\dots (5)$$

[0060] 根据沙蚁POL-神经元模型的信号处理方法,常规后续处理方式是作对数运算得出偏振度及E矢量方向信息。由于检测到的光信号微弱,该处理方式在作对数运算后通常需要设计前置放大电路,而放大倍数的不同将对结果产生直接影响,且这种影响为非线性的(对数电路处理的原因),解算角度误差较大。本发明选择了相对简单、便于求解的新算法实现,具体过程如下:

[0061] 然后,由式(2)-(5)可以获得被测天空区域偏振光的E矢量方向 θ_0 和偏振度d,即:

$$[0062] \quad \theta_0 = \frac{1}{2} \arctan(\frac{\sqrt{3}}{3} + \frac{2\sqrt{3}}{3} (\frac{U_3(\theta) - U_4(\theta)}{U_1(\theta) - U_2(\theta)})) \dots\dots\dots (6);$$

$$[0063] \quad d = \frac{U_1(\theta) - U_2(\theta)}{U_1(\theta) + U_2(\theta)} \cdot \frac{1}{\cos(\arctan(\frac{\sqrt{3}}{3} + \frac{2\sqrt{3}}{3} (\frac{U_3(\theta) - U_4(\theta)}{U_1(\theta) - U_2(\theta)}))} \dots\dots\dots (7);$$

[0064] 式(6)和式(7)是根据减法电路和后续中央控制单元进行数据采集、信号处理解算得出的方位角和偏振度信息,此方法对现有POL-神经元模型的信号处理方法进行了改进,可以有效的减小使用对数电路因放大倍数而引起的误差,提高解算的精度。

[0065] 最后,中央控制信息处理单元间隔时间段(例如定义30min或者15min为一个间隔时间段)获得一次E矢量方向 θ_0 ,根据每次获得的E矢量方向 θ_0 与设定的阈值(本领域技术人员可以根据装置所需的精度进行合理确定设定阈值,例如3°,太阳每小时相对地球转动15°,若15min检测一次的话,在15min内,天阳转动过的角度为3.75°,所以设置为3°,能够保证每次检测都能够进行一次矫正)进行比较,当E矢量方向 θ_0 大于等于设定阈值时,中央控制信息处理单元发出指令控制执行水平运动的伺服电机6驱动水平支架1水平旋转的角度为 $\pm \theta_0$,即垂直支架2在水平面的投影线与太阳子午线在水平面的投影线重合(也就是水平支架在水平面的投影线与E矢量重合);当E矢量方向 θ_0 小于设定阈值时,无动作。上述原理如下,本装置水平支架上安装的偏振光传感器检测方向为正对天顶,假设传感器检测到的E矢量方向为 θ_0 ,由大气偏振模式分布规律及瑞利散射数学模型可知,任意时刻天顶附近的E矢量方向均垂直于天顶与太阳的连线,即太阳子午线,若定义传感器中第一个感知单元水平(第一象限)通道中的偏振片的极化方向为传感器的参考坐标方向,则传感器的参考坐标

方向与此时此刻的太阳子午线的夹角为 $\frac{\pi}{2} \pm \theta_0$,如图9所示,因此,可以通过传感器检测的E矢量方向 θ_0 获得相对于太阳位置的水平方位角信息。根据水平方位角信息,控制水平伺服电机执行机构动作,使垂直支架2在水平面的投影线与太阳子午线在水平面的投影线重合,完成水平跟踪。

[0066] 具体工作时,本装置只能在白天的时候才能实现跟踪,晚上停止工作(只有白天才

有太阳,晚上对太阳跟踪就失去了意义),这样既能减少能耗,又能防止在晚上装置发生错误。因为定时扫描,可以把装置的初始朝向定为正东方向,每隔15或30分钟扫描一次。定时从早上5点开始,到下午7点结束,然后装置转动回初始位置,即正东方向。这样就可以根据 θ_0 的正负来确定旋转方向,当 θ_0 为正时,水平转台的转动方向为顺时针方向(从天顶向下看),当 θ_0 为负时,水平转台的转动方向为逆时针方向(从天顶向下看)。

[0067] 此外,本装置水平支架上安装了两个偏振光信息检测传感器,目的是通过二者同时解算,提高检测精度及可靠性,保证水平跟踪的精度。具体实施时,可以取两者的平均值。

[0068] II、太阳高度角的检测及垂直跟踪

[0069] 安装在垂直支架2上的两个偏振光信息检测传感器3通过上述I中相同的解算方法分别获得偏振度 d_1 和偏振度 d_2 ,然后对偏振度 d_1 和偏振度 d_2 进行差值绝对值运算后得到差值结果,将差值结果与设定的阈值(本领域技术人员可以根据装置所需的精度进行合理确定设定阈值,例如3%~5%)进行比较,当差值结果大于等于阈值时,说明垂直支架2的轴线偏离太阳较远,需要控制执行垂直运动的伺服电机7驱动垂直支架2向偏振度小的偏振光信息检测传感器3方向旋转;直至当差值结果小于阈值时,即认为垂直支架2的轴线方向正对太阳,完成垂直跟踪。从理论上讲,此阈值应设定为0,即只要偏振度大小不相等,执行垂直运动的伺服电机进行调整,但实际测试时,无法保证两个传感器的测量误差为零,因此采用设定阈值实现判断,以降低执行机构的误操作,提高跟踪精度。

[0070] III、微调对准(自然光检测)

[0071] 自然光检测传感器4中的四象限光电二极管用于检测经过II调整完成后的自然光在四象限光电二极管入射光平面的分布情况,如图10所示,当太阳光斑在四象限光电二极管入射光平面的四象限的分布不均匀时,四个象限分别输入到中央控制单元的光电流不相等,中央控制单元发出指令控制执行垂直运动的伺服电机7驱动垂直支架2旋转进行微调,直至太阳光斑在四象限光电二极管入射光平面中心形成均匀分布,则完成对太阳的跟踪。

[0072] 具体实施时,所述安装在垂直支架2上的两个偏振光信息检测传感器3的轴线与水平平面形成的两个锐角均为 45° ,如图5所示。

[0073] 如图4所示,所述水平支架1呈U型,所述水平支架1的两个端面上分别安装有偏振光信息检测传感器3。

[0074] 中央控制信息处理单元采用高处理速度、性能优越的ARM嵌入式芯片作为核心或者采用单片机PLC,完成偏振光信息检测传感器3、自然光检测传感器4的数据采集、信息解算,并根据计算结果,控制伺服电机执行机构调整水平与垂直跟踪方向,实现本装置的高精度太阳跟踪。电路设计采用本领域技术人员熟知的模块化思想,将前端传感、微弱信号调理放大、AD转换、后续数据理解算、电机驱动均进行了模块化设计,更加方便调试与安装,提高了整体可靠性。

[0075] 伺服电机采用市场成熟的产品,共两个,用于水平和垂直方向跟踪控制,由于伺服电机响应速度快、位置精度高,且带有反馈机制,因此本设计选用伺服电机作为执行机构。

[0076] 本装置基于偏振光检测的方式实现太阳跟踪,偏振光检测不受气象条件变化的影响,即使在阴天、乌云遮挡、建筑物遮挡太阳的情况下仍可使用,具有更高的稳定性与适应范围。同时,本装置在水平支架上使用了两个偏振光信息检测传感器(检测方向正对天顶)检测大气偏振模式中的E矢量信息,通过二者同时解算,大大提高检测精度及可靠性;在垂

直跟踪技术方面,充分利用了大气偏振模式的分布对称规律,通过差值比对的方式保证了跟踪精度;此外,采用了高精度四象限光电二极管检测上述调整完成后的自然光分布情况,通过微调的方式保证了整体检测精度。

[0077] 本发明从仿生学角度出发,充分利用大气偏振模式的分布规律,设计原理新颖,结构精巧,具有高精度、高稳定、算法简单等特点,并且在阴天、乌云遮挡、建筑物遮挡太阳的情况下仍可使用,在太阳跟踪、大气监测等领域有着广阔的应用前景。

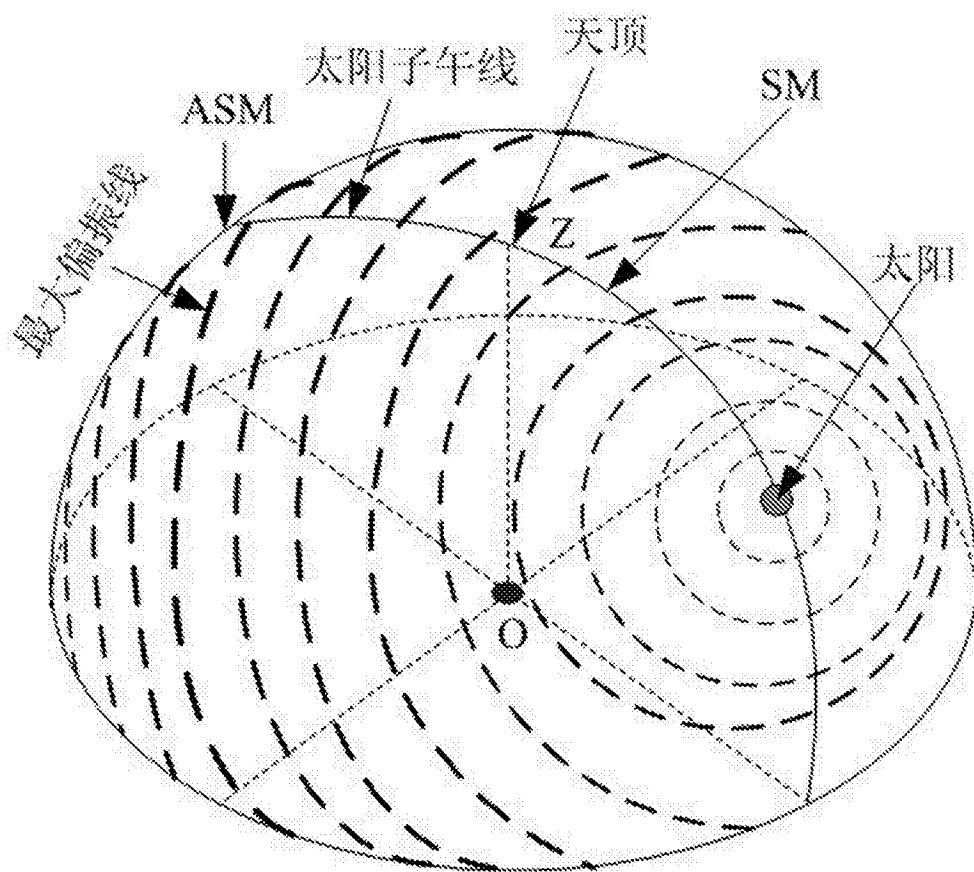


图1

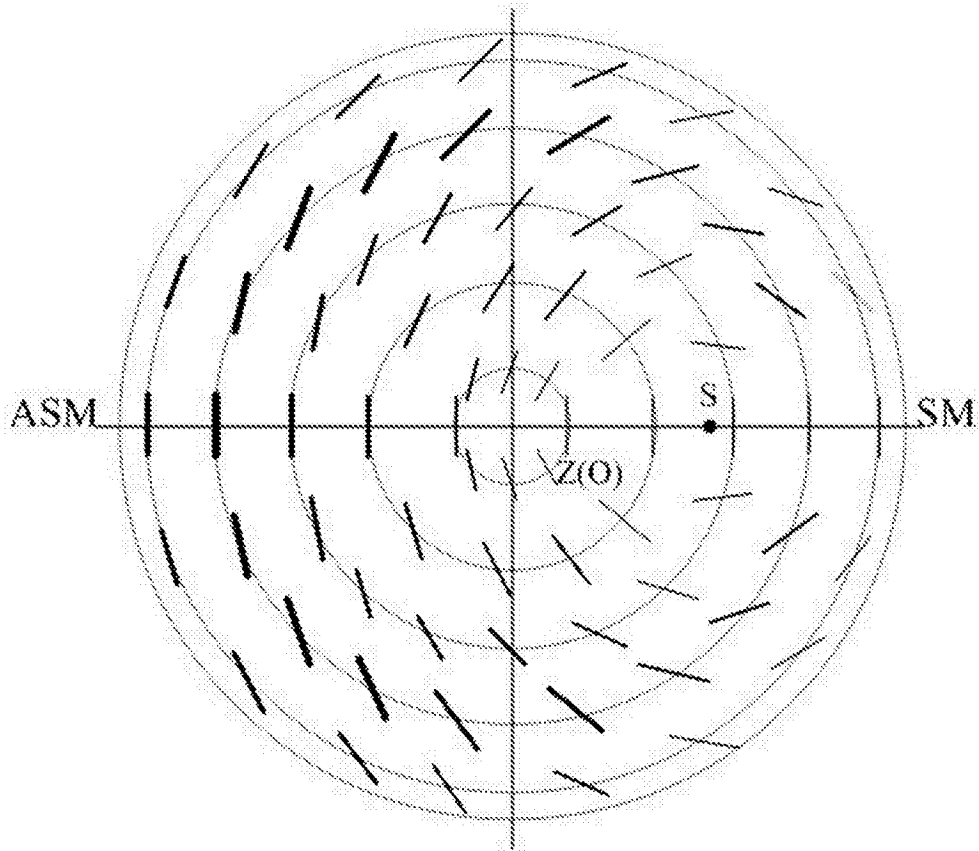


图2

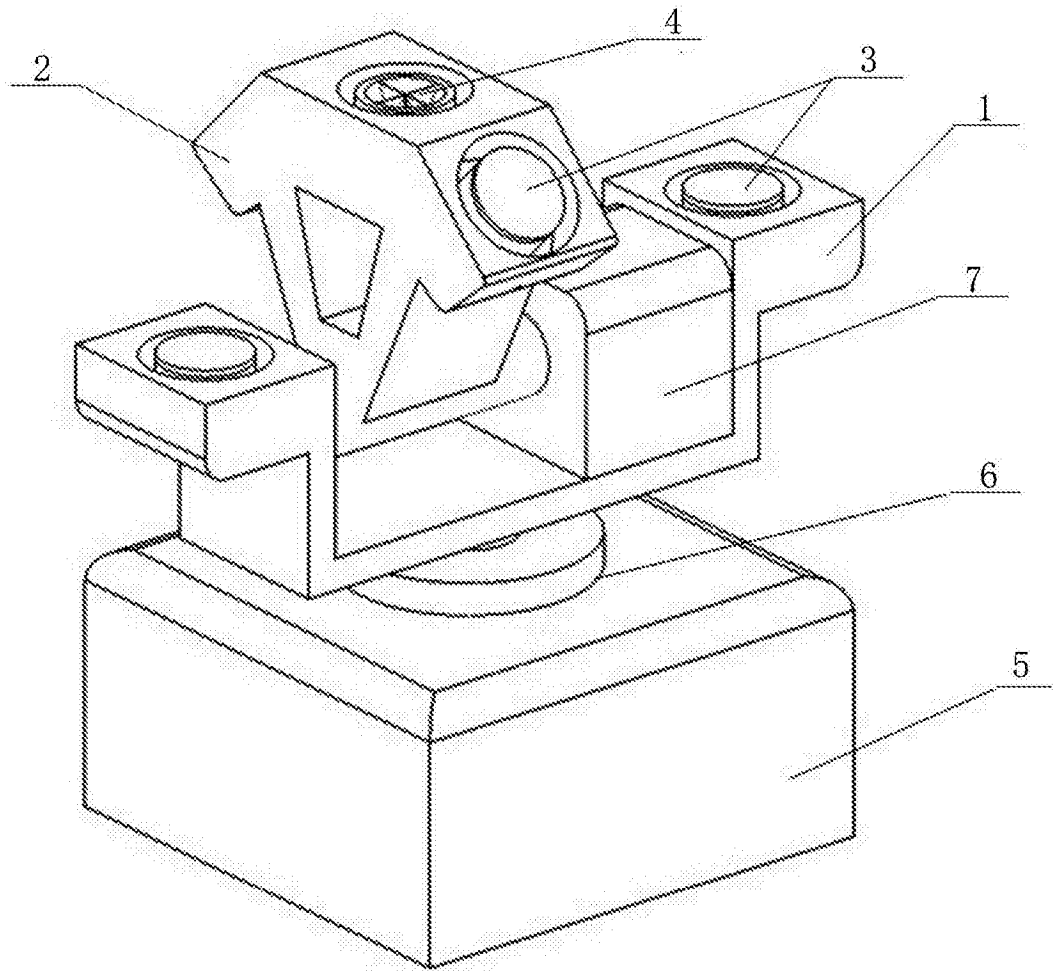


图3

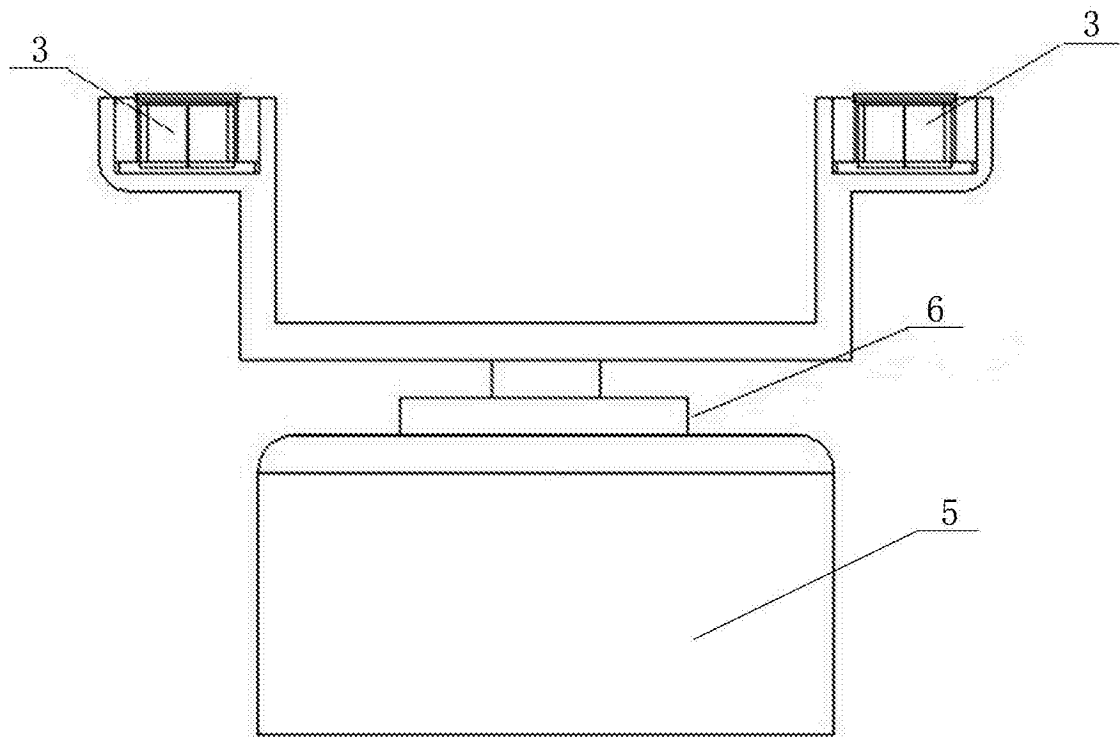


图4

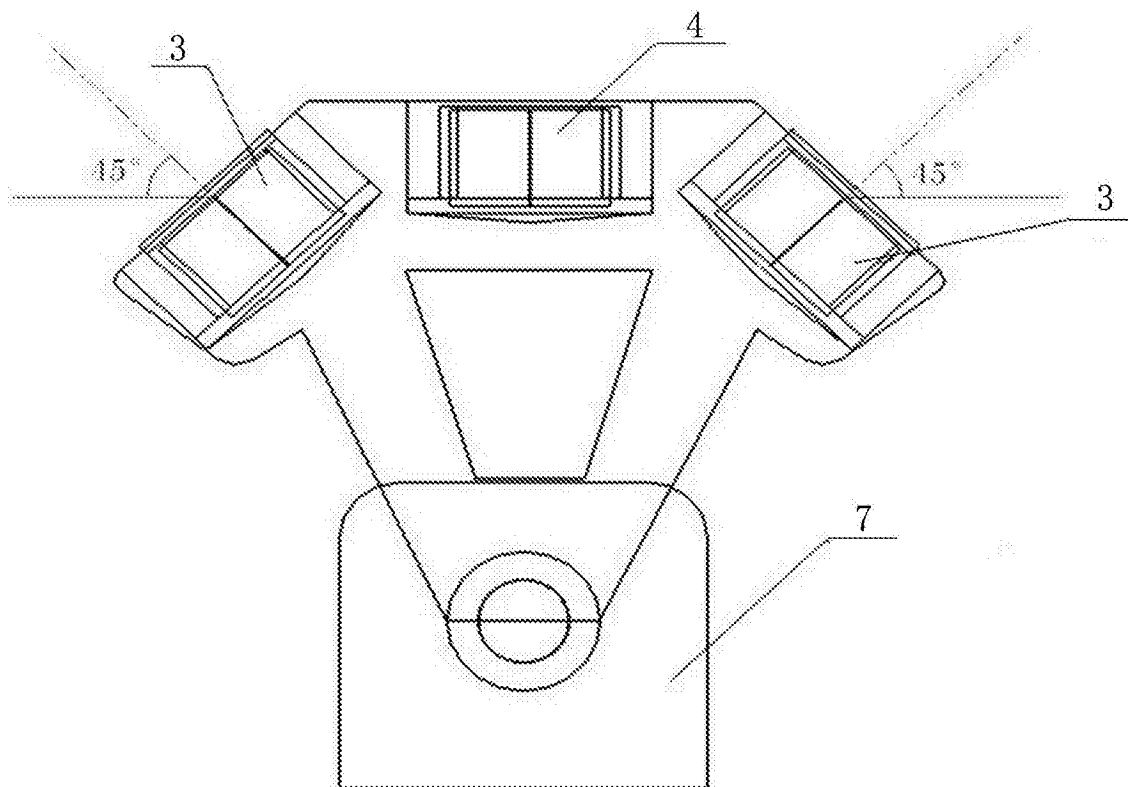


图5

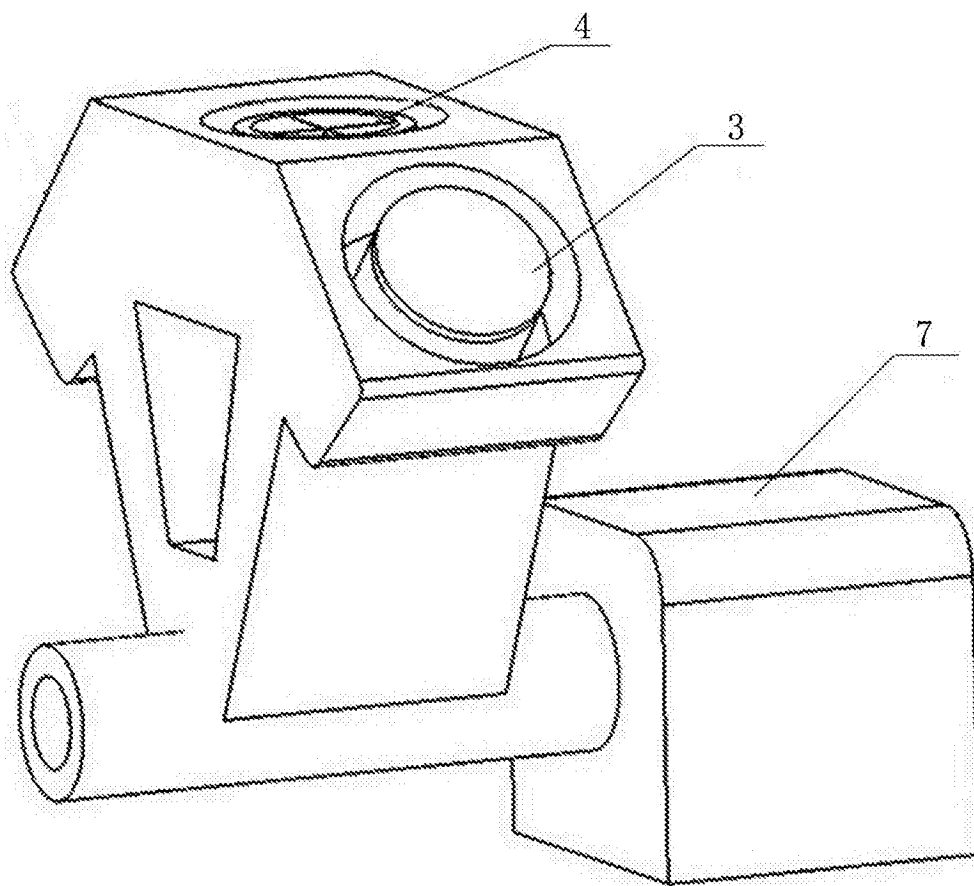


图6

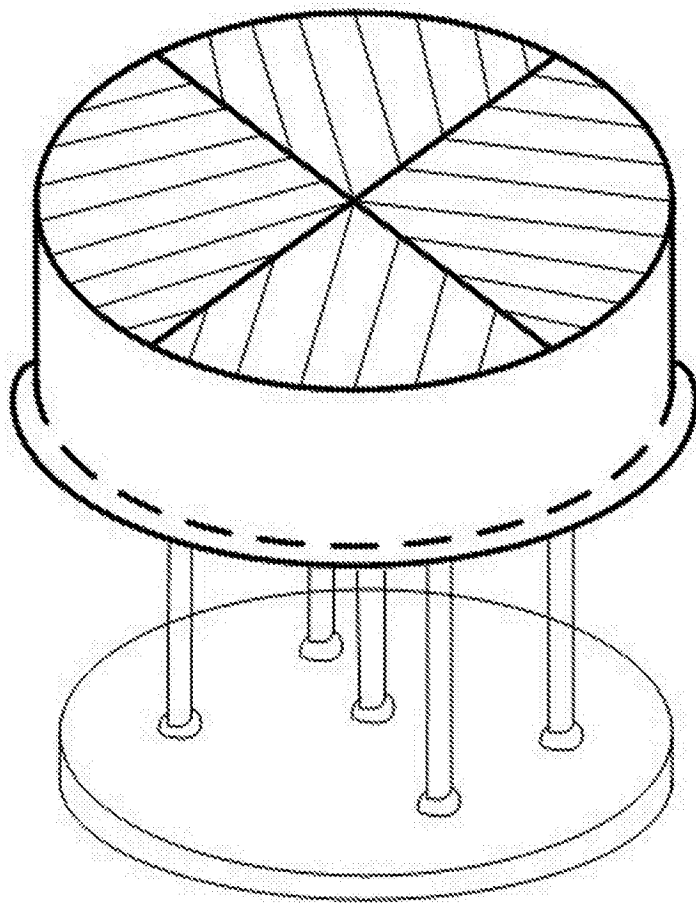


图7

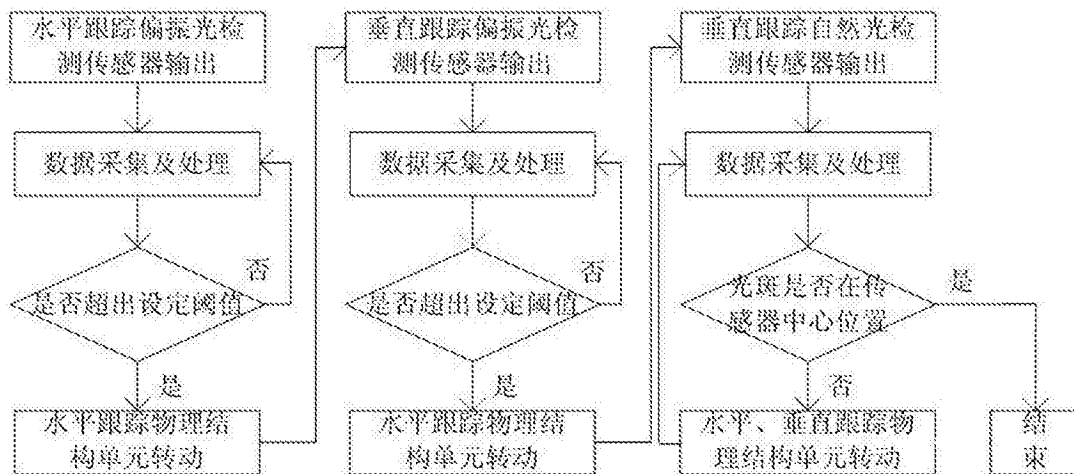


图8

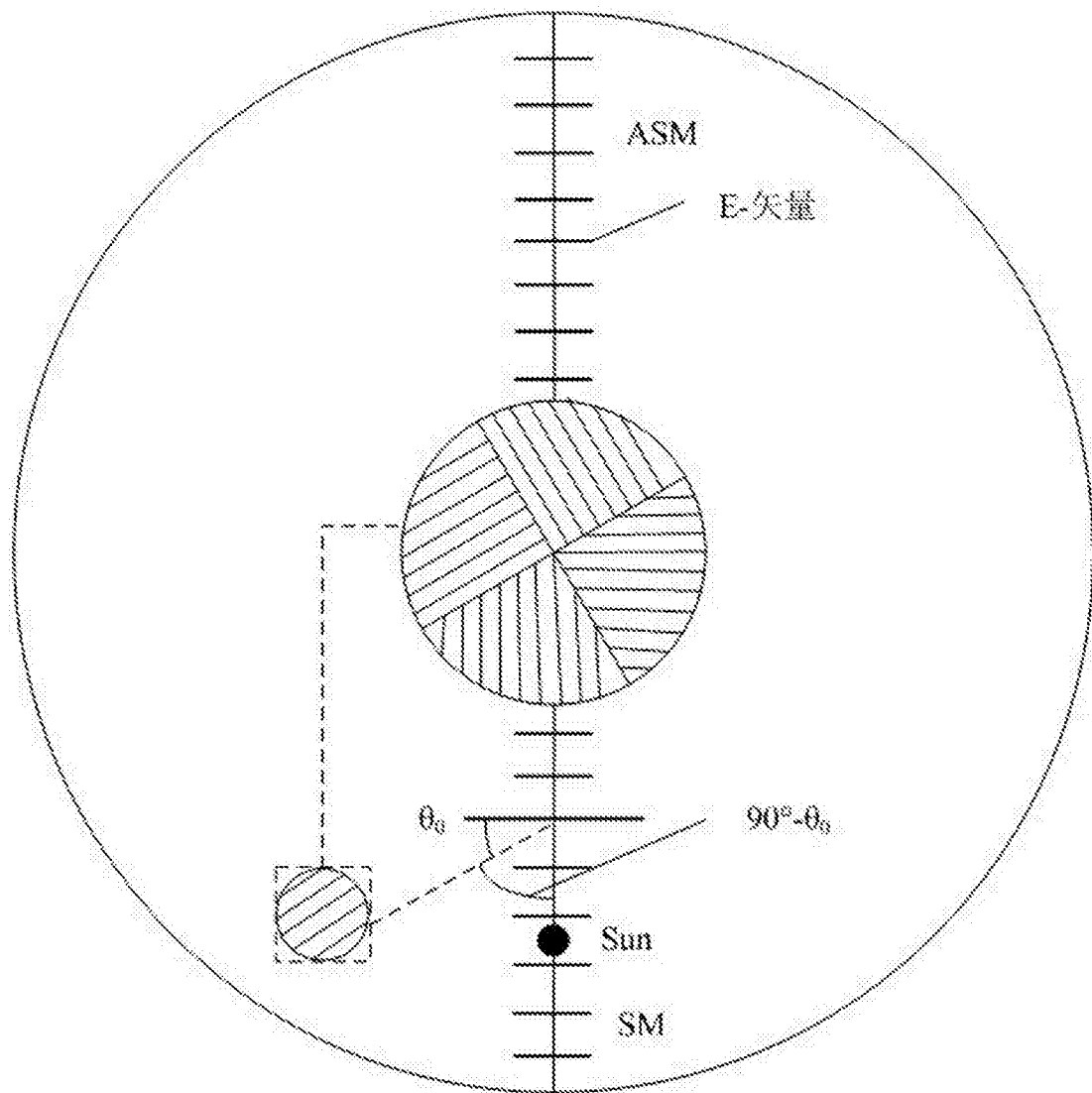


图9

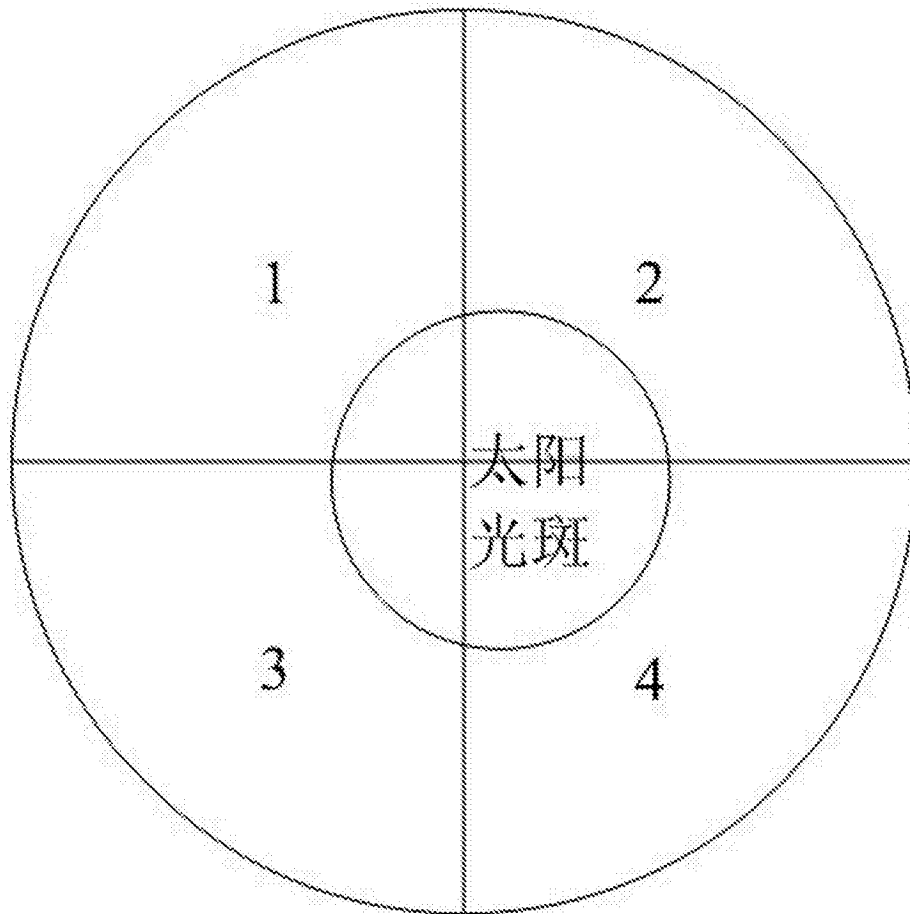


图10