



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113063394 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 24

(21) 申请号 202110285345.6

G01B 11/00 (2006.01)

(22) 申请日 2021.03.17

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 103868464 A, 2014.06.18

申请公布号 CN 113063394 A

CN 1560563 A, 2005.01.05

CN 109737913 A, 2019.05.10

(43) 申请公布日 2021.07.02

CN 107702644 A, 2018.02.16

(73) 专利权人 中国科学院微电子研究所

CN 102062581 A, 2011.05.18

地址 100094 北京市海淀区邓庄南路9号中

CN 109813215 A, 2019.05.28

科院新技术基地

US 2016209500 A1, 2016.07.21

(72) 发明人 董登峰 高豆豆 崔成君 王国名

朱志忠 高兴华 程智 张滋黎

王颖 李洋 张佳 朱雅庆

周道德 周维虎

侯宝芬. 6D精密激光跟踪测量技术的研究. 《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士) 信息科技辑(2013年)》. 2013, (第06期), 第I135-57页.

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

公司 11227

专利代理师 姚璐华

张礲. 基于半导体激光光纤组件的四自由度测量仪的研制. 《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士) 信息科技辑(2007年)》. 2007, (第05期), 第I135-22页.

(51) Int. Cl.

G01C 1/00 (2006.01)

G01C 21/00 (2006.01)

审查员 何慧

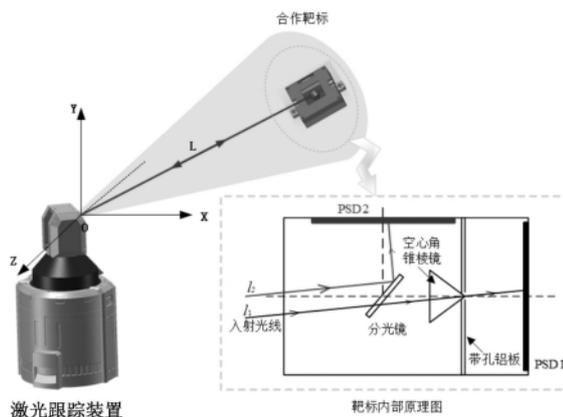
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统

(57) 摘要

本发明提供了一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统,该高精度姿态测量系统结合位置敏感探测器实现被测物的姿态测量,与常用视觉测量方法相比,因为PSD位置敏感探测器体积小、响应快、精度高、无死区等优点,使本发明提供的高精度姿态测量系统不再受限于复杂环境的影响,结构简单,算法简单,可同时提高姿态测量的精度与速度。



1. 一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统,其特征在于,所述高精度姿态测量系统包括:激光跟踪装置以及合作靶标;

其中,所述合作靶标用于安装在被测物的表面;

所述激光跟踪装置用于出射平行的第一光束以及第二光束,其中,所述第一光束和所述第二光束的波长不同;

所述合作靶标包括:分光镜、空心角锥棱镜、相互垂直设置的第一PSD传感器和第二PSD传感器;

所述第一PSD传感器到所述分光镜中心的距离与所述第二PSD传感器到所述分光镜中心的距离相等;

所述第一光束透过所述分光镜再经过所述空心角锥棱镜,一部分入射至所述第一PSD传感器上,另一部分反射回所述激光跟踪装置;

所述第二光束经所述分光镜,被反射至所述第二PSD传感器上;

所述激光跟踪装置还用于依据反射回所述激光跟踪装置的光束,实时跟踪所述空心角锥棱镜。

2. 根据权利要求1所述的高精度姿态测量系统,其特征在于,所述激光跟踪装置包括第一激光源和第二激光源;

所述第一激光源用于出射红外光、即所述第一光束;

所述第二激光源用于出射红外光,即所述第二光束。

3. 根据权利要求1所述的高精度姿态测量系统,其特征在于,所述第一PSD传感器与所述分光镜中心、所述空心角锥棱镜同轴。

4. 根据权利要求3所述的高精度姿态测量系统,其特征在于,所述合作靶标包括壳体;

所述分光镜、所述空心角锥棱镜、所述第一PSD传感器和所述第二PSD传感器位于所述壳体内部;

所述壳体上设置有固定装置;通过所述固定装置将所述合作靶标固定在所述被测物的表面。

5. 根据权利要求4所述的高精度姿态测量系统,其特征在于,所述合作靶标还包括:位于所述壳体内部的带孔铝板;

所述带孔铝板用于固定所述空心角锥棱镜,遮挡杂光。

6. 根据权利要求1所述的高精度姿态测量系统,其特征在于,所述激光跟踪装置还包括:二维精密跟踪转台;

所述二维精密跟踪转台用于依据反射回所述激光跟踪装置的光束,调整自身姿态,以实时跟踪所述空心角锥棱镜。

7. 根据权利要求6所述的高精度姿态测量系统,其特征在于,所述激光跟踪装置还包括:激光跟踪头;

所述二维精密跟踪转台用于依据反射回所述激光跟踪装置的光束,调整自身姿态进而调整所述激光跟踪头的姿态,以实时跟踪所述空心角锥棱镜。

8. 根据权利要求7所述的高精度姿态测量系统,其特征在于,所述激光跟踪装置还包括:集成电控模块;

所述集成电控模块用于控制所述激光跟踪装置内部功能模块的工作状态。

9. 根据权利要求1所述的高精度姿态测量系统,其特征在于,所述合作靶标还包括:PSD传感器电控模块;

所述PSD传感器电控模块用于控制所述第一PSD传感器和所述第二PSD传感器的工作状态。

一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统

技术领域

[0001] 本发明涉及姿态测量技术领域,更具体地说,涉及一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统。

背景技术

[0002] 随着科学技术的不断发展,各种各样的精密器件已广泛应用于人们的生活和工作中,为人们的生活带来了极大的便利。

[0003] 基于大型高端器件而言,在其精密制造和装配的过程中对姿态精准测量提出了越来越高的要求,目前国际上已实现了高精度的、六自由度的激光跟踪测量。但是,由于技术垄断,在国内制造领域并没有高精度、高动态、大范围以及六自由度的跟踪测量自主手段,特别是三维姿态跟踪测量技术。

[0004] 那么,如何实现一种更优的姿态测量技术,是本领域技术人员亟待解决的技术问题。

发明内容

[0005] 有鉴于此,为解决上述问题,本发明提供一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统,技术方案如下:

[0006] 一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统,所述高精度姿态测量系统包括:激光跟踪装置以及合作靶标;

[0007] 其中,所述合作靶标用于安装在被测物的表面;

[0008] 所述激光跟踪装置用于出射平行的第一光束以及第二光束;

[0009] 所述合作靶标包括:分光镜、空心角锥棱镜、相互垂直设置的第一PSD传感器和第二PSD传感器;

[0010] 所述第一光束透过所述分光镜再经过所述空心角锥棱镜,一部分入射至所述第一PSD传感器上,另一部分反射回所述激光跟踪系统;

[0011] 所述第二光束经所述分光镜,被反射至所述第二PSD传感器上;

[0012] 所述激光跟踪装置还用于依据反射回所述激光跟踪系统的光束,实时跟踪所述空心角锥棱镜。

[0013] 优选的,在上述高精度姿态测量系统中,所述激光跟踪装置包括第一激光源和第二激光源;

[0014] 所述第一激光源用于出射红外光、即所述第一光束;

[0015] 所述第二激光源用于出射红外光,即所述第二光束;

[0016] 其中,所述第一光束和所述第二光束的波长不同。

[0017] 优选的,在上述高精度姿态测量系统中,所述第一PSD传感器与所述分光镜中心、所述空心角锥棱镜同轴。

[0018] 优选的,在上述高精度姿态测量系统中,所述合作靶标包括壳体;

[0019] 所述分光镜、所述空心角锥棱镜、所述第一PSD传感器和所述第二PSD传感器位于所述壳体内部；

[0020] 所述壳体上设置有固定装置；通过所述固定装置将所述合作靶标固定在所述被测物的表面。

[0021] 优选的，在上述高精度姿态测量系统中，所述合作靶标还包括：位于所述壳体内部的带孔铝板；

[0022] 所述带孔铝板用于固定所述空心角锥棱镜，遮挡杂光。

[0023] 优选的，在上述高精度姿态测量系统中，所述第一PSD传感器到所述分光镜中心的距离与所述第二PSD传感器到所述分光镜中心的距离相等。

[0024] 优选的，在上述高精度姿态测量系统中，所述激光跟踪装置包括：二维精密跟踪转台；

[0025] 所述二维精密跟踪转台用于依据反射回所述激光跟踪系统的光束，调整自身姿态，以实时跟踪所述空心角锥棱镜。

[0026] 优选的，在上述高精度姿态测量系统中，所述激光跟踪装置还包括：激光跟踪头；

[0027] 所述二维精密跟踪转台用于依据反射回所述激光跟踪系统的光束，调整自身姿态进而调整所述激光跟踪头的姿态，以实时跟踪所述空心角锥棱镜。

[0028] 优选的，在上述高精度姿态测量系统中，所述激光跟踪装置还包括：集成电控模块；

[0029] 所述集成电控模块用于控制所述激光跟踪装置内部功能模块的工作状态。

[0030] 优选的，在上述高精度姿态测量系统中，所述合作靶标还包括：PSD传感器电控模块；

[0031] 所述PSD传感器电控模块用于控制所述第一PSD传感器和所述第二PSD传感器的工作状态。

[0032] 相较于现有技术，本发明实现的有益效果为：

[0033] 本发明提供了一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统，结合位置敏感探测器实现被测物的姿态测量，与常用视觉测量方法相比，因为PSD位置敏感探测器体积小、响应快、精度高、无死区等优点，使本发明提供的高精度姿态测量系统不再受限于复杂环境的影响，结构简单，算法简单，可同时提高姿态测量的精度与速度。

附图说明

[0034] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0035] 图1为本发明实施例提供的一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统的结构示意图；

[0036] 图2为本发明实施例提供的一种光路示意图；

[0037] 图3为本发明实施例提供的一种无滚动状态下的角测量示意图；

[0038] 图4为本发明实施例提供的一种滚动状态下的角测量示意图；

[0039] 图5为本发明实施例提供的一种滚动角对单个PSD传感器信号的影响示意图；

[0040] 图6为本发明实施例提供的一种入射光束偏移量测定示意图。

具体实施方式

[0041] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0042] 在本发明的发明创造过程中,发明人发现,在机器人、航空航天、导航系统、工业装配等领域中已有大量姿态测量技术的应用,但是,这些技术或多或少存在精度差、速度慢以及环境受限等问题。

[0043] 比如,目前应用十分广泛的视觉测量技术;但是,这一技术由于相机生产工艺限制、光线条件敏感、遮挡干扰和图像处理算法复杂度高等原因,以使测量精度和速度受限。

[0044] 再比如,采用微机械电子系统(Micro-Electro-Mechanical System,简称MEMS)的测量技术,这一技术虽然传感器具有体积小、质量轻和功耗低等优点成为姿态测量系统中较受欢迎的选择,但是由于传感器本身精度低、漂移大等缺点,导致必须与其它姿态传感器结合才能使用,进而增加了系统的复杂性。

[0045] 又比如,采用GPS(Global Positioning System,全球定位系统)系统的测量技术,通过卫星定位可实时测量物体姿态信息,但存在室内GPS信号弱和成本昂贵等问题。

[0046] 也就是说,目前的姿态测量技术存在或多或少的问题,都不能满足六自由度跟踪测量技术的大尺度、大范围和高精度等要求。

[0047] 基于此,本发明实施例提供了一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统,与常用视觉测量方法相比,因为PSD(Position Sensitive Detector,位置敏感探测器)传感器体积小、响应快、精度高、无死区等优点,本发明提供的高精度姿态测量系统不再受限于复杂环境的影响,结构简单,算法简单,可同时提高姿态测量的精度与速度。

[0048] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0049] 参考图1,图1为本发明实施例提供的一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统的结构示意图。

[0050] 所述高精度姿态测量系统包括:激光跟踪装置以及合作靶标;

[0051] 其中,所述合作靶标用于安装在被测物的表面;

[0052] 所述激光跟踪装置用于出射平行的第一光束 1_1 以及第二光束 1_2 ;

[0053] 所述合作靶标包括:分光镜、空心角锥棱镜、相互垂直设置的第一PSD传感器PSD1和第二PSD传感器PSD2;

[0054] 所述第一光束 1_1 透过所述分光镜再经过所述空心角锥棱镜,一部分入射至所述第一PSD传感器PSD1上,另一部分反射回所述激光跟踪系统;

[0055] 所述第二光束 1_2 经所述分光镜,被反射至所述第二PSD传感器PSD2上;

[0056] 所述激光跟踪装置还用于依据反射回所述激光跟踪系统的光束,实时跟踪所述空心角锥棱镜。

- [0057] 如图1所示,所述第一PSD传感器PSD1与所述分光镜、所述空心角锥棱镜中心同轴。
- [0058] 可选的,所述激光跟踪装置包括第一激光源和第二激光源;
- [0059] 所述第一激光源用于出射红外光、即所述第一光束 1_1 ;
- [0060] 所述第二激光源用于出射红外光,即所述第二光束 1_2 ;
- [0061] 其中,所述第一光束 1_1 和所述第二光束 1_2 的波长不同。
- [0062] 也就是说,所述第一激光源出射的所述第一光束 1_1 和所述第二激光源出射的所述第二光束 1_2 为两束不同波段的平行红外光。
- [0063] 所述第一激光源和所述第二激光源构成激光发射器。
- [0064] 进一步的,基于本发明上述实施例,所述激光跟踪装置还包括:二维精密跟踪转台;
- [0065] 所述二维精密跟踪转台用于依据反射回所述激光跟踪系统的光束,调整自身姿态,以实时跟踪所述空心角锥棱镜。
- [0066] 所述激光跟踪装置还包括:激光跟踪头;
- [0067] 所述二维精密跟踪转台用于依据反射回所述激光跟踪系统的光束,调整自身姿态进而调整所述激光跟踪头的姿态,以实时跟踪所述空心角锥棱镜。
- [0068] 所述激光跟踪装置还包括:集成电控模块;
- [0069] 所述集成电控模块用于控制所述激光跟踪装置内部功能模块的工作状态。
- [0070] 需要说明的是,所述激光跟踪装置至少还包括:稳频系统的电控箱、跟踪伺服单元。
- [0071] 在该实施例中,所述集成电控模块至少包括二次电源、嵌入式计算机、数据采集记录单元、伺服控制单元、功率驱动单元和主控软件等。
- [0072] 所述二维精密跟踪转台至少包括垂直轴系、水平轴系、角度编码器、伺服电机、回型支撑框、跟踪反射镜以及倾角传感器。
- [0073] 所述激光跟踪装置中各个功能模块相互配合,以实现更精确的跟踪。
- [0074] 进一步的,基于本发明上述实施例,所述合作靶标包括壳体;
- [0075] 所述分光镜、所述空心角锥棱镜、所述第一PSD传感器PSD1和所述第二PSD传感器PSD2位于所述壳体内部;
- [0076] 所述壳体上设置有固定装置;通过所述固定装置将所述合作靶标固定在所述被测物的表面。
- [0077] 在该实施例中,通过额外的固定装置,用于提高合作靶标和所述被测物之间连接的稳定性,进而可提高被测物姿态测量的精度。
- [0078] 可选的,如图1所示,所述合作靶标还包括:位于所述壳体内部的带孔铝板;
- [0079] 所述带孔铝板用于固定所述空心角锥棱镜,遮挡杂光。
- [0080] 所述合作靶标还包括:PSD传感器电控模块;
- [0081] 所述PSD传感器电控模块用于控制所述第一PSD传感器PSD1和所述第二PSD传感器PSD2的工作状态。
- [0082] 基于本发明上述实施例提供的高精度姿态测量系统,与常用视觉测量方法相比,因为PSD(Position Sensitive Detector,位置敏感探测器)传感器体积小、响应快、精度高、无死区等优点,本发明提供的高精度姿态测量系统不再受限于复杂环境的影响,结构简

单,算法简单,可同时提高姿态测量的精度与速度。

[0083] 下面对本发明实施例提供的一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统的具体原理进行阐述说明:

[0084] 需要说明的是,所述第一PSD传感器到所述分光镜中心的距离与所述第二PSD传感器到所述分光镜中心的距离相等。

[0085] 参考图2,图2为本发明实施例提供的一种光路示意图。

[0086] 由于所述第一PSD传感器到所述分光镜中心的距离与所述第二PSD传感器到所述分光镜中心的距离相等,再结合平行光与分光镜的特性,垂直分布的第一PSD传感器和第二PSD传感器可等效为完全重合的两个传感器,进而可以将两个光信号拟合到同一坐标系。

[0087] 参考图3,图3为本发明实施例提供的一种无滚动状态下的角测量示意图。

[0088] 当被测物无滚动时,拟合到同一坐标系下的PSD光信号点 P_1 和 P_2 ,因绕被测物基准轴的俯仰/偏航变换到点 P_1' 与 P_2' 的位置。

[0089] 参考图4,图4为本发明实施例提供的一种滚动状态下的角测量示意图。

[0090] 当初始向量 $\overline{P_1P_2}$ 与x轴夹角为0时,俯仰角 α /偏航角 β 不再影响该夹角变化,那么该夹角可等效为被测物的滚动角。

[0091] 参考图5,图5为本发明实施例提供的一种滚动角对单个PSD传感器信号的影响示意图。

[0092] 其中,xy坐标系为消除滚动后的状态示意, $x'y'$ 坐标系为真实测量的状态示意。

[0093] 基于上述内容,下面对被测物俯仰角 α 、偏航角 β 、以及滚动角 γ 的解算进行描述:

[0094] 首先,标定平移矩阵 $T = [t_x, t_y, t_z]^T$;

[0095] 具体方式为:使用一束光,沿第一PSD传感器法线射入,同时采集第一PSD传感器和第二PSD传感器上的坐标信息,做差值得到 t_x 、 t_y ;再通过光学手段测量分光镜到第一PSD传感器和第二PSD传感器的距离做差可得到 t_z 。

[0096] 其次,标定旋转矩阵R;

[0097] 具体方式为:用平移矩阵T补偿平移量之后,将第一PSD传感器的坐标系看做基准轴,第二PSD传感器的坐标系最初与第一传感器的坐标系重合,之后先绕第一PSD传感器坐标系的x轴旋转角度 α ,再绕第一PSD传感器坐标系的y轴旋转角度 β ,最后绕第一PSD传感器坐标系的z轴旋转角度 γ ,则旋转矩阵R为:

$$[0098] \quad R = \begin{bmatrix} \cos \beta \cos \gamma & \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma & \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma \\ \cos \beta \sin \gamma & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma \\ -\sin \beta & \sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0099] 进一步的,通过不同位置的激光源在第一PSD传感器和第二PSD传感器上产生的位置信息几何标定 α 、 β 、 γ ,计算旋转矩阵R。

[0100] 首先,使用一束激光入射至第一PSD传感器坐标系的x轴上,光点坐标记为: $(x_1, 0)$,同时,采集该激光束在第二PSD传感器坐标系上形成的位置信号,记为: (x_2, y_2) ,那么旋转角 γ 如下所示:

$$[0101] \quad \gamma = \arctan\left(\frac{y_2 - t_y}{x_2 - t_x}\right) \quad (2)$$

[0102] 之后,使用任意一束不入射至第一PSD传感器坐标系轴线上的光点,光点坐标记为: (x_1, y_1) , 同时,采集该激光束在第二PSD传感器坐标系上形成的位置信号,记为: (x_2, y_2) , 基于预设公式(本发明下述实施例内容所示的公式(10)),推算出第二PSD传感器在消除滚动后的光信号坐标可记为:

$$[0103] \quad \begin{cases} x_2' = \frac{x_2(1 - \tan \varphi \tan \gamma)}{\sqrt{1 + \tan^2 \gamma}} \\ y_2' = \frac{x_2(\tan \varphi + \tan \gamma)}{\sqrt{1 + \tan^2 \gamma}} \end{cases}, \text{其中} \tan \varphi = \frac{y_2}{x_2} \quad (3)$$

[0104] 显然可知,

$$[0105] \quad \alpha = \arccos\left(\frac{y_1}{y_2' - t_y}\right) \quad (4)$$

$$[0106] \quad \beta = \arccos\left(\frac{x_1}{x_2' - t_x}\right) \quad (5)$$

[0107] 那么,由平移矩阵T和旋转矩阵R,可得到第一PSD传感器坐标系和第二PSD传感器坐标系的转换矩阵 $\begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 。

[0108] 进一步的,将本发明上述实施例提供的合作靶标通过固定装置安装在被测物相应的位置处,使被测物滚动一周并记录第一PSD传感器和第二PSD传感器的数值,其数值集可组成一个圆形则合作靶标坐标轴与被测物相应坐标轴平行。

[0109] 通过激光跟踪装置中的功能模块,初始化激光跟踪装置,确保激光跟踪装置对合作靶标的跟踪状态,即激光跟踪头对合作靶标的跟踪状态。

[0110] 在被测物没有姿态角变化时,调整激光跟踪头,使得初始光信号点 P_1 落在PSD坐标系原点,记为 $(0, 0)$, 初始光信号点落在PSD坐标系x轴上,记为 $(x_2, 0)$ 。

[0111] 进一步的,基于图3所示的无滚动状态下的角测量示意图,当被测物无滚动时,俯仰角 α 和偏航角 β 引起的光信号变化记为: $P_1'(x_1', y_1')$ 、 $P_2'(x_2', y_2')$; 第一光束 l_1 与空心角锥棱镜夹角 θ 与俯仰角 α 和偏航角 β 的关系如下:

$$[0112] \quad \begin{cases} \frac{d_1}{\sin(\pi - \theta_x)} = \frac{d_2}{\sin(\theta_x - \alpha)} \\ \frac{d_1}{\sin(\pi - \theta_y)} = \frac{d_2}{\sin(\theta_y - \beta)} \end{cases} \quad (6)$$

[0113] 转动前后光信号坐标关系如下:

$$[0114] \quad \begin{cases} x_1' = d_3 \cdot \tan \theta_y \\ y_1' = d_3 \cdot \tan \theta_x \\ x_2' = d_3 \cdot \tan \theta_y + x_2 \cdot \cos(\theta_y - \beta) / \cos \theta_y \\ y_2' = d_3 \cdot \tan \theta_x + y_2 \cdot \cos(\theta_x - \alpha) / \cos \theta_x \end{cases} \quad (7)$$

[0115] 因为初始光信号点 P_2 落在PSD坐标系的x轴上,所以为 $y_2 = 0$, 可知向量 $\overline{P_1 P_2}$ 与x轴夹

角数值与俯仰角 α 和偏航角 β 无关,并且,结合图4所示的滚动状态下的角测量示意图,可得滚动角 γ 的计算公式:

$$[0116] \quad \gamma = \arctan \frac{y_1' - y_2'}{x_1' - x_2'} \quad (8)$$

[0117] 进一步的,结合图5所示的滚动角对单个PSD传感器信号的影响示意图,被测物有滚动时,空心角锥棱镜后的第一PSD传感器上光信号点与PSD坐标系水平 x 轴夹角记为 ϕ ,此时光信号观测值记为 (x', y') ,消除滚动角 γ 的光信号坐标记为 (x, y) ,其几何关系如下:

$$[0118] \quad \begin{cases} x^2 + y^2 = x'^2 + y'^2 \\ \tan \phi = \frac{y'}{x'} \\ \tan(\phi + \gamma) = \frac{y}{x} \end{cases} \quad (9)$$

[0119] 由此可得:

$$[0120] \quad \begin{cases} x = \frac{x'(1 - \tan \phi \tan \gamma)}{\sqrt{1 + \tan^2 \gamma}} \\ y = \frac{x'(\tan \phi + \tan \gamma)}{\sqrt{1 + \tan^2 \gamma}} \end{cases} \quad (10)$$

[0121] 进一步的,参考图6,图6为本发明实施例提供的一种入射光束偏移量测定示意图。当 $\gamma = 0$ 时,由图6可知,光线绕 x 轴、 y 轴的角度偏转为:

$$[0122] \quad \begin{cases} \theta_x = \arctan \frac{y}{d_3} \\ \theta_y = \arctan \frac{x}{d_3} \end{cases} \quad (11)$$

[0123] 结合公式(10)和(11)可知:

$$[0124] \quad \begin{cases} \theta_x = \arctan \frac{x'(\tan \phi + \tan \gamma)}{d_3 \sqrt{1 + \tan^2 \gamma}} \\ \theta_y = \arctan \frac{x'(1 - \tan \phi \tan \gamma)}{d_3 \sqrt{1 + \tan^2 \gamma}} \end{cases} \quad (12)$$

[0125] 进一步的,将公式(12)代入公式(6),即可得到俯仰角 α 和偏航角 β 。

[0126] 需要说明的是,上述公式中 x' 、 y' 、 d_1 、 d_2 、 d_3 由测量或标定得到。

[0127] 以上对本发明所提供的一种基于双二维位置敏感探测器的高精度姿态测量系统进行了详细介绍,本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

[0128] 需要说明的是,本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,每个实施例重

点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0129] 还需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备所固有的要素,或者是还包括为这些过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0130] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

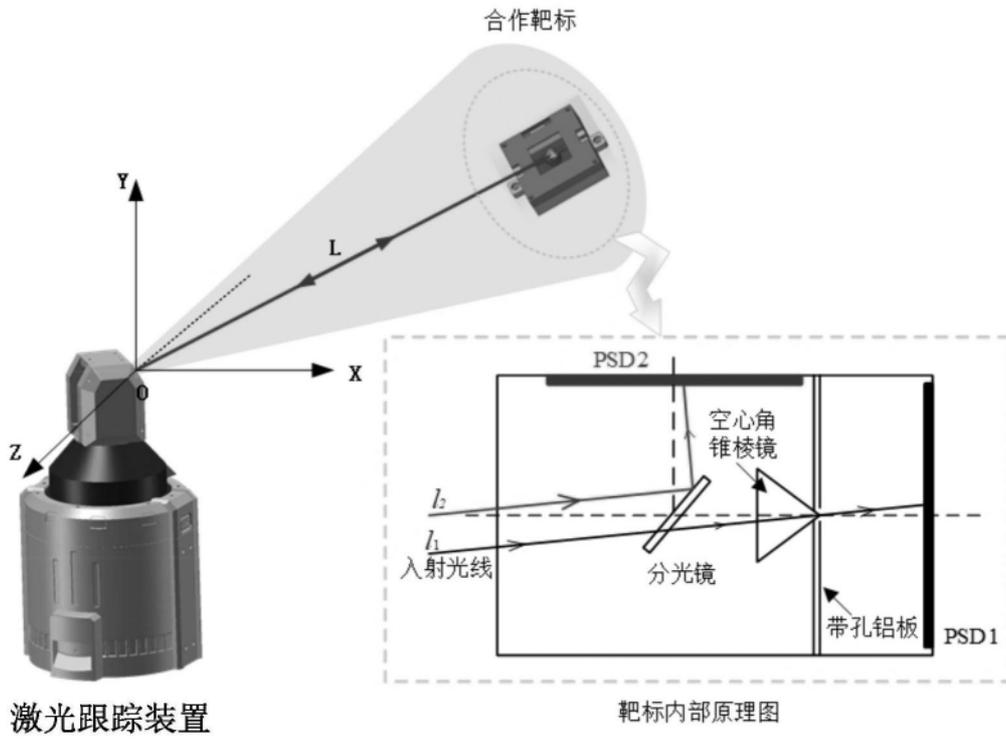


图1

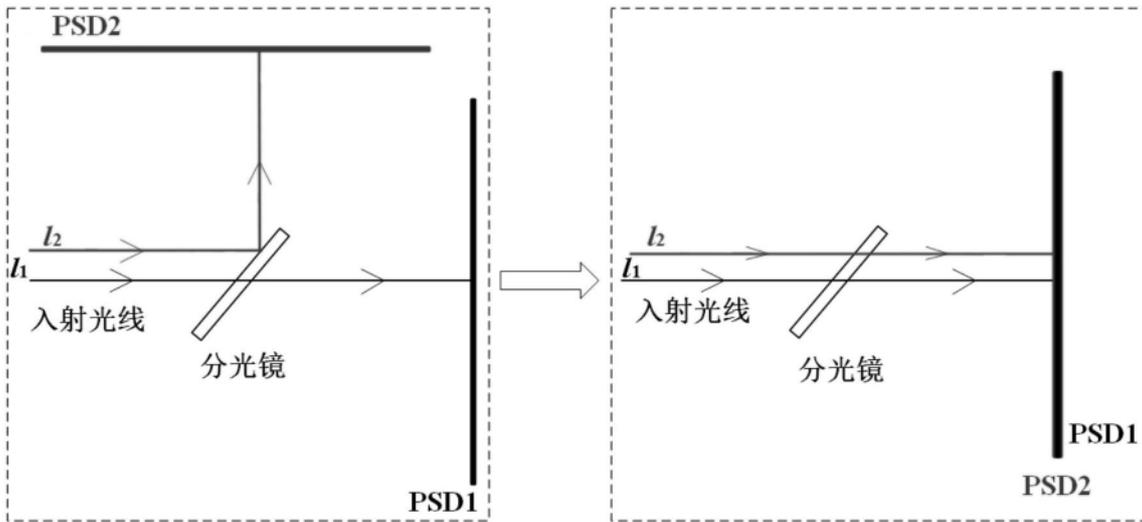


图2

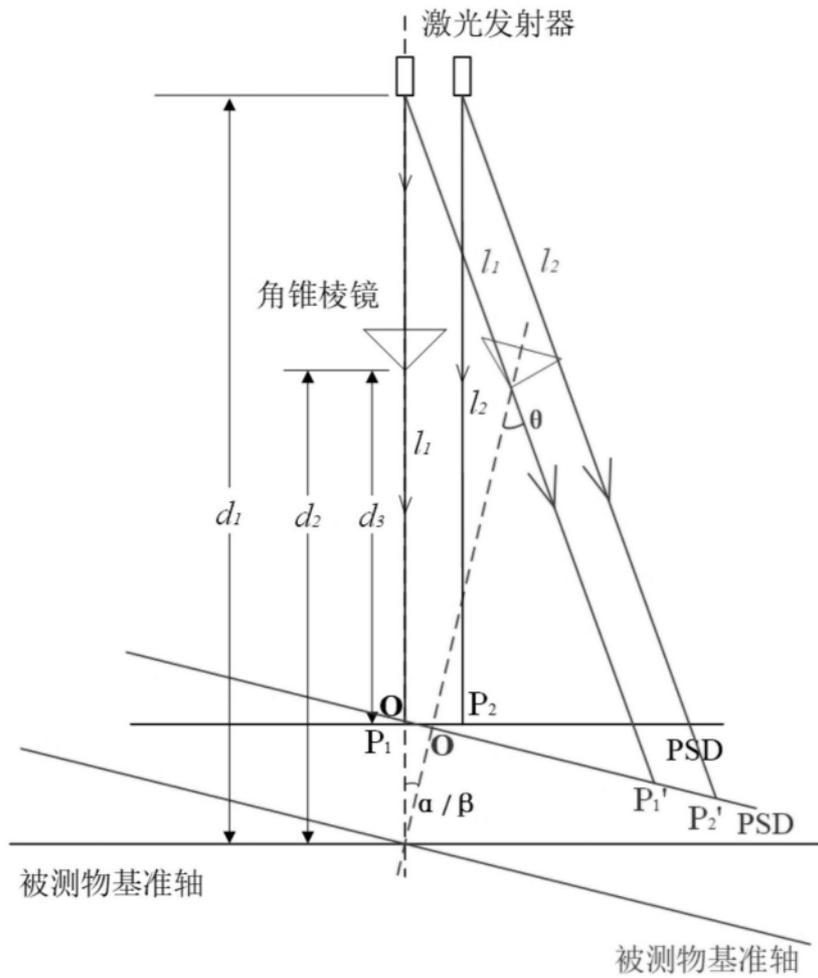


图3

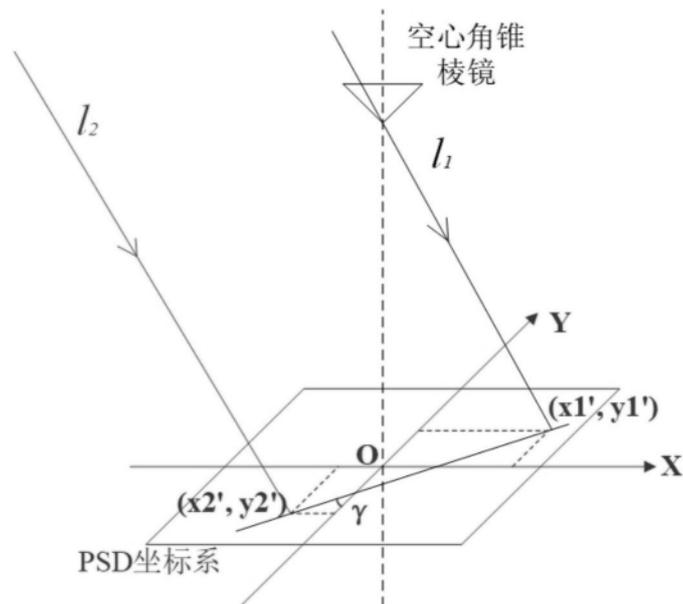


图4

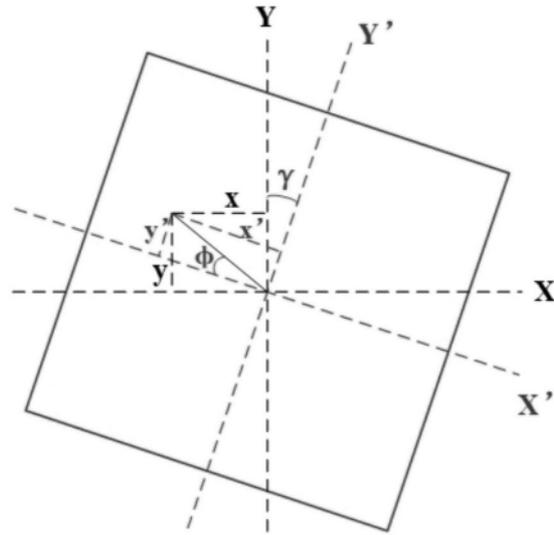


图5

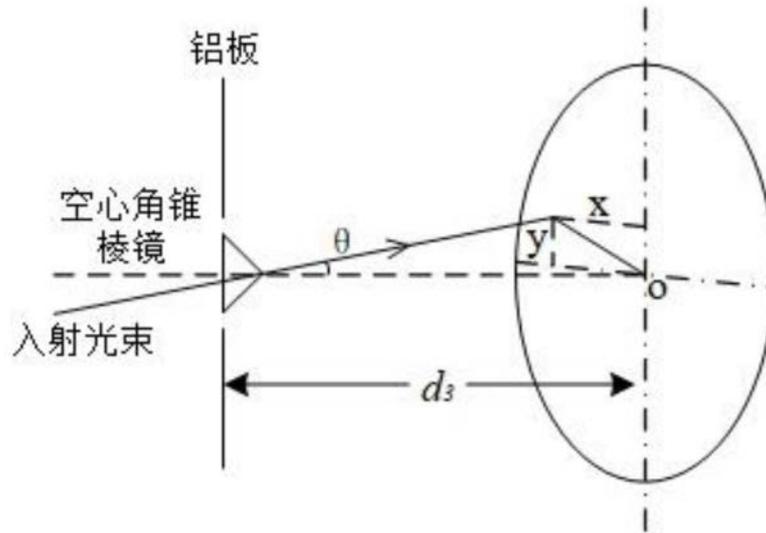


图6