



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106959701 A

(43)申请公布日 2017.07.18

(21)申请号 201710305711.3

(22)申请日 2017.05.03

(71)申请人 成都大学

地址 610000 四川省成都市龙泉驿区外东  
十陵镇

(72)发明人 陈绍祥 雷旭辉 李洁 康腾飞

(74)专利代理机构 成都华风专利事务所(普通  
合伙) 51223

代理人 徐丰

(51)Int.Cl.

G05D 1/10(2006.01)

H02G 1/02(2006.01)

G01S 17/08(2006.01)

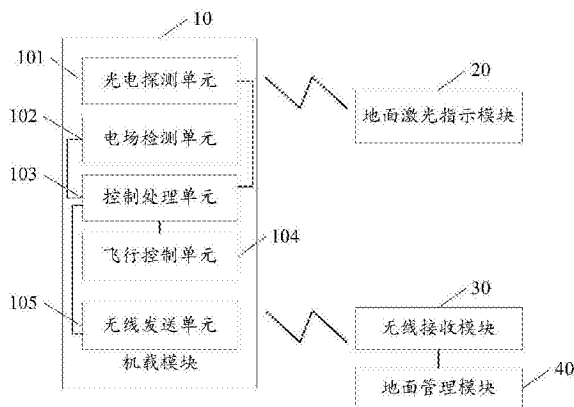
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

## (54)发明名称

基于电场测距和半主动激光引导的无人机  
电力巡线系统

## (57)摘要

本发明涉及基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,包括:机载模块、地面激光指示模块,机载模块包括光电探测单元、电场检测单元、控制处理单元、飞行控制单元;地面激光指示模块用于发射指示高压铁塔具体位置的激光信号;电场检测单元用于检测高压输电线的电场信号,经控制处理单元处理后,获得无人机距离高压输电线的距离,并发送至无人机的飞行控制单元;光电探测单元用于探测由高压铁塔反射的激光信号,并经过控制处理单元的处理后,获得激光信号所指定的方位,并发送至飞行控制单元;飞行控制单元根据无人机距离高压输电线的距离,控制无人机的飞行高度,根据所述激光信号所指定的方位,控制无人机的飞行方向,实现自主巡线。



1. 基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,其特征在于,包括:机载模块、地面激光指示模块,机载模块包括光电探测单元、电场检测单元、控制处理单元、飞行控制单元;

地面激光指示模块用于发射指示高压铁塔具体位置的激光信号;

电场检测单元用于检测高压输电线的电场信号,经控制处理单元处理后,获得无人机距离高压输电线的距离,并发送至无人机的飞行控制单元;

光电探测单元用于探测由高压铁塔反射的激光信号,并经过控制处理单元的处理后,获得所述激光信号所指定的方位,并发送至飞行控制单元;

飞行控制单元根据无人机距离高压输电线的距离,控制无人机的飞行高度,根据所述激光信号所指定的方位,控制无人机的飞行方向。

2. 根据权利要求1所述的基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,其特征在于,还包括:地面无线接收模块以及地面管理模块,机载模块还包括无线发送单元;

地面无线接收模块用于接收机载模块通过无线发送单元发送的无人机距离高压输电线的距离信息和激光信号所指定的方位,并发送至地面管理模块进行显示。

3. 根据权利要求1所述的基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,其特征在于,所述地面激光指示模块具体为固体激光器;

所述固体激光器包括壳体,壳体内由输出反射镜与平面全反射镜构成的平行光学谐振腔,在所述输出反射镜与平面全反射镜之间依次设置有Nd:YAG激光工作物质、偏振片、KD\*P电光调Q晶体,还包括垂直所述平行光学谐振腔且对准Nd:YAG激光工作物质的泵浦氙灯,所述泵浦氙灯处还设置有聚光腔,壳体外设置有冷却器。

4. 根据权利要求1所述的基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,其特征在于,所述电场检测单元具体包括立方体结构框架,所述立方体结构框架的六个面分别设置有圆形电容极板,形成三对相互正交的电容器,每个电容器的两个电容极板均采用双绞线引出。

5. 根据权利要求1所述的基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,其特征在于,所述光电探测单元具体为四象限光电探测器,用于获取高压铁塔反射的激光信号的光斑位于四象限探测器坐标系上的坐标位置。

6. 根据权利要求1所述的基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,其特征在于,在光电探测单元之前还设置有光学单元,所述光学单元包括窄带滤波片和透镜,用于收集、汇聚由地面激光指示模块发射后并被高压铁塔反射的激光信号。

7. 根据权利要求1所述的基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,其特征在于,在光电探测单元与控制处理单元之间还包括激光信号调理单元和A/D变换单元,所述激光信号调理单元用于对光电探测单元产生的微波电信号进行滤波和放大处理,所述A/D变换单元用于将激光的模拟信号转换成数字信号。

8. 根据权利要求1所述的基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,其特征在于,在电场检测单元与控制处理单元之间还包括电场信号调理单元和A/D变换单元,所述电场信号调理单元包括滤波电路和放大电路,滤波电路用于对电场信号滤除干扰信号,放大电路用于对滤除干扰信号的电场信号进行放大,A/D变换单元用于将电场的模拟信号转换为数字信号。

9. 根据权利要求1所述的基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,其特征在于,所述控制处理单元用于根据检测到的三维电场的强度和方向计算探测到的合电场强度、方向,按照距离测算方法计算无人机距离高压输电线的距离。

10. 根据权利要求5所述的基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,其特征在于,所述控制处理单元用于根据所述四象限探测器坐标系上的坐标位置,得到高压铁塔反射的激光信号所指定的方位。

## 基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无人机技术领域,尤其涉及基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统。

### 背景技术

[0002] 在电力巡线作业中,无人机巡检以其无需作业人员亲临塔底、效率高、无巡检“盲区”等优势得到了广泛应用。无人机进行电力巡线作业是通过无人机沿着高压电力线路飞行,靠近高压铁塔时,对高压铁塔上的绝缘子、金具等附件进行拍照或摄像,以供地面电力维护人员分析这些附件是否完好,从而保证高压输电线路安全运行。

[0003] 但是,当无人机在靠近输电线飞行时,无人机上的电子设备易受到高压输电线辐射的电场的干扰,影响无人机安全飞行,严重时可能会导致无人机坠毁。而且,无人机在沿高压输电线朝向高压铁塔飞行的过程中,需要定位和判断高压铁塔的具体位置,以便完成靠近拍照摄像,通常采用的做法是依靠地面操作人员遥控,让无人机靠近铁塔,但是,这并不利于一些人不易到达的恶劣铁塔环境进行巡线作业。

[0004] 因此,现有的无人机电力巡线作业中,无法有效引导和控制无人机的电力巡线。

### 发明内容

[0005] 本发明实施例提供了基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,解决了现有无人机电力巡线作业中,无法有效引导和控制无人机的电力巡线的技术问题。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明实施例提供了基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统,包括:机载模块、地面激光指示模块,机载模块包括光电探测单元、电场检测单元、控制处理单元、飞行控制单元;

[0007] 地面激光指示模块用于发射指示高压铁塔具体位置的激光信号;

[0008] 电场检测单元用于检测高压输电线的电场信号,经控制处理单元处理后,获得无人机距离高压输电线的距离,并发送至无人机的飞行控制单元;

[0009] 光电探测单元用于探测由高压铁塔反射的激光信号,并经过控制处理单元的处理后,获得所述激光信号所指定的方位,并发送至飞行控制单元;

[0010] 飞行控制单元根据无人机距离高压输电线的距离,控制无人机的飞行高度,根据所述激光信号所指定的方位,控制无人机的飞行方向。

[0011] 本发明实施例至少具有如下技术效果或优点:

[0012] 由于在基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统中,机载模块中的电场检测单元检测高压输电线的电场,经控制处理单元处理后,获得无人机距离高压输电线的距离,并发送至无人机的飞行控制单元,机载模块中的光电探测单元探测由高压铁塔反射的激光信号,并经过控制处理单元的处理后,获得激光信号所指定的方位,并发送至飞行控制单元,由飞行控制单元根据无人机距离高压输电线的距离,控制无人机的飞行高度,根据激光信号所指定的方位,控制无人机的飞行方向,实现自主巡线。

## 附图说明

[0013] 图1为本发明实施例中基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统的模块示意图；

[0014] 图2为本发明实施例中无线接收模块与地面管理模块的连接示意图；

[0015] 图3为本发明实施例中地面激光指示模块的结构示意图；、

[0016] 图4为本发明实施例中电场检测模块的示意图；

[0017] 图5为本发明实施例中X方向信号调理电路的结构示意图；

[0018] 图6为本发明实施例中四象限探测器坐标系示意图；

[0019] 图7为本发明实施例中机载模块10的具体模块示意图。

## 具体实施方式

[0020] 本发明实施例通过提供基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统，解决了现有无人机电力巡线作业中，无法有效引导和控制无人机的电力巡线的技术问题。

[0021] 为了解决上述技术问题，下面将结合说明书附图以及具体的实施方式对上述技术方案进行详细的说明。

[0022] 本发明实施例提供了基于电场测距和半主动激光引导的无人机电力巡线系统，如图1所示，包括机载模块10、地面激光指示模块20，该机载模块10包括光电探测单元101、电场检测单元102、控制处理单元103、飞行控制单元104。具体地，地面激光指示模块20用于发射指示高压铁塔具体位置的激光信号，电场检测单元102用于检测高压输电线的电场，经控制处理单元103处理后，获得无人机距离高压输电线的距离，并发送至无人机的飞行控制单元104，飞行控制单元104根据无人机距离高压输电线的距离，控制无人机的飞行高度，根据该激光信号所指定的方位，控制无人机的飞行方向。

[0023] 在具体的实施方式中，该无人机电力巡线系统还包括地面无线接收模块30以及地面管理模块40，该机载模块10还包括由无线发送单元105，该地面无线接收模块30用于接收机载模块10通过无线发送单元105发送的无人机距离高压输电线的距离信息和激光信号所指定的方位，并发送至地面管理模块40进行显示。

[0024] 具体地，该地面无线接收模块30采用与机载模块10的无线发送单元105相同的工作频段，将收到的电场信号通过RS232串行接口发送到地面管理模块40，该地面管理模块40具体是计算机，包括有显示器，能够显示该电场信号参数信息，以及告警状态。如图2所示为地面无线接收模块30与地面管理模块40的连接示意图。

[0025] 具体地，该地面激光指示模块20具体为固体激光器，如图3所示，该固体激光器包括壳体，壳体内由输出反射镜201与平面全反射镜202构成的平行光学谐振腔，在该输出反射镜201与平面全反射镜202之间依次设置有Nd:YAG激光工作物质203、偏振片204、KD\*P电光调Q晶体205，还包括垂直该平行光学谐振腔且对准Nd:YAG激光工作物质203的泵浦氙灯206，该泵浦氙灯206处还设置有聚光腔207，壳体外设置有冷却器208。其中，该Nd:YAG激光工作物质203能够产生1.06 $\mu\text{m}$ 波长的激光，输出反射镜201是一个反射率为98%的平面镜，该输出反射镜201与平面全反射镜202构成的平行光学谐振腔的长度为激光半波长的整数倍，KD\*P电光调Q晶体205具体原料为磷酸二氟钾，其作用是改变谐振腔的损耗，使激光能够

形成脉冲输出。该泵浦氙灯206是利用聚光腔207将光能量会聚到Nd:YAG激光工作物质203上,激光器的转换效率较低,需要冷却器208对激光器进行冷却。

[0026] 固体激光器具体的工作原理:泵浦氙灯206产生脉冲泵浦光,泵浦光激发Nd:YAG激光工作物质203,使得粒子反转到高能级亚稳态,此时,KD\*P电光调Q晶体205上未加电压,激光谐振腔具有高损耗 $Q_H$ ,由于该激光器阈值高而不能形成振荡,于是亚稳态上的离子开始积累,当离子反转数积累到一定数量时,在一定时刻,在KD\*P电光调Q晶体205上加脉冲电压,此时谐振腔的损耗突然降低到 $Q$ ,阈值也突然降低,此时反转粒子的集居数大大超过闭值,受激辐射迅速增强,于是在极短的时间内,处于亚稳态的离子释放出能量,从而输出激光脉冲。

[0027] 该电场检测单元102采用电容器极板在电场中产生电压差原理设计,具体地,采用在一个立方体装置的六个表面上放置电容极板,如图4所示,从而形成三个相互正交放置的电容器,用来测量 $x, y, z$ 三个正交方向上的电场强度。该立方体的边长为2.5cm,采用FR4材料制成,厚度为1.6mm,每个表面上的电容电极采用半径为1.5cm的圆形数铜,每个电容器的两个电极采用线径为0.4带屏蔽的双绞线引出,三个电容器的单对引出线穿过一个直径为5mm、长度为15cm的素硬质塑料管,塑料管一端与电场检测单元固定,另一端与机载模块电路板固定,三对电容器引出线的另一端焊接在机载模块电路板上,与电场信号调理电路连接。

[0028] 在该电场检测单元102与控制处理单元103之间还包括有电场信号调理单元106和A/D变换单元107,该电场信号调理单元106包括滤波电路和放大电路,滤波电路用于对电场信号滤除干扰信号,放大电路用于对滤除干扰信号的电场信号进行放大,A/D变换单元107用于将电场的模拟信号转换为数字信号。

[0029] 该电场信号调理单元主要用于测得代表 $x, y, z$ 三个正交方向上的电场强度的微弱电压信号进行滤波和放大,因此,该电场信号调理单元由滤波电路和放大电路组成,由于该电场检测单元102是测量工频交流高压输电线路的电场强度,因此,该电场信号调理单元中的滤波电路的功能是滤除其他频率的干扰信号,只保留50Hz。放大电路是对微弱的电压信号进行放大,以便进行后续的A/D变换和处理,如图5所示,为 $x$ 方向信号调理电路( $y$ 和 $z$ 方向的调理电路与 $x$ 方向的相同)。

[0030] 当经过A/D变换单元变换后的信号进入控制处理单元103,该控制处理单元103对电场信号进行处理,具体地,控制处理单元103用于根据检测到的三维电场的强度和方向计算探测到的合电场强度、方向,按照距离测算方法计算无人机距离高压输电线的距离。

[0031] 电场的电压和电场的轻度成线性关系,公式是 $KU=E$ ,该电场传感器采用三维设计,每个方向都符合如下公式:

$$[0032] \quad \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix}$$

[0033] 根据对电场检测单元的校准数据,结合以上公式,计算出电场检测单元在畸变的电场环境下的修正系数 $K_1, K_2, K_3$ 。该 $K_1, K_2, K_3$ 分别为电场探头 $x, y, z$ 三个方向的修正系数。

[0034] 总的电场强度 $E$ 等于

$$[0035] \quad E = \sqrt{(K_1 U_1)^2 + (K_2 U_2)^2 + (K_3 U_3)^2}$$

[0036] 电场的方向由水平偏转角 $\alpha$ 和竖直方向角 $\beta$ 共同表示

$$[0037] \quad \alpha = \arctan \frac{E_2}{E_1} = \frac{K_2 U_2}{K_1 U_1}$$

$$[0038] \quad \beta = \arctan \frac{E_3}{\sqrt{(E_1)^2 + (E_2)^2}} = \frac{K_3 U_3}{\sqrt{(K_1 U_1)^2 + (K_2 U_2)^2}}$$

[0039] 高压输电线路因为电压等级、输电线铁塔外形、输电线的排列方式,甚至负荷的不同,输电线周围电场强度都是不同的,想要建立一个模型囊括所有输电线路电场强度和距离的关系,是非常困难的。本设计根据需求,选择电压等级500kv,输电线路同塔双回路垂直排列,根据该系统在现场测试的数据,我们建立了一个电场强度到中心导线距离这样一个实际工程函数,公式如下:

$$[0040] \quad F(E) = -1.824 \times 10^{-10} E^3 + 7.297 \times 10^{-7} E^2 - 0.005202 E + 46.2$$

[0041] E为合电场强度,F(E)为无人机距离输电线路的距离。

[0042] 经过控制处理单元103的处理之后,能够获得无人机应当距离高压输电线的距离。

[0043] 此时,由飞行控制单元104根据无人机距离高压输电线的距离,控制无人机的飞行高度。

[0044] 该光电探测单元101之前还设置有光学单元108,该光学单元108包括窄带滤波片和透镜,用于收集、汇聚由地面激光指示模块发射后并被高压铁塔反射的激光信号。在该光电探测单元101和控制处理单元103之间还设置有激光信号调理单元109和A/D变换单元107,该激光信号调理单元109用于对光电探测单元产生的微波电信号进行滤波和放大处理,该A/D变换单元107用于将激光的模拟信号转换为数字信号。

[0045] 该光电探测单元101具体为四象限光电探测器,用于获取高压铁塔反射的激光信号的光斑位于四象限探测器坐标系上的坐标位置。

[0046] 具体地,如图6所示为四象限探测器坐标系示意图。该四象限探测器光敏面有A、B、C、D四部分,假设入射光斑为圆形且能量分布均匀,照射到光敏面上的光斑被四个象限分成四个部分,此时,由于光生伏特效应,对应的四象限电极将光能转换成电能,产生大小为 $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$ 、 $I_D$ 的阻抗电流, $E_A$ 、 $E_B$ 、 $E_C$ 、 $E_D$ 分别表示入射到四个象限的光斑总能量, $S_A$ 、 $S_B$ 、 $S_C$ 、 $S_D$ 分别表示入射到四个象限的光斑面积,当光斑中心在四个象限探测器上的位置改变时,光敏面各象限上的光斑面积也会改变,从而引起四象限探测器各象限输出电流强度的变化。

[0047] 在整个测量范围内,光斑能量中心的偏移量信号与光斑中心实际偏移量在偏离探测中心较远时并不满足线性关系,仅在线性区域内,这种比例关系为一个常数,设为K。

[0048] 采用加减算法处理四路电压信号,具体公式为:

$$[0049] \quad x_0 = K \frac{(E_A + E_D) - (E_B + E_C)}{E_A + E_B + E_C + E_D} = K \frac{(S_A + S_D) - (S_B + S_C)}{S_A + S_B + S_C + S_D}$$

$$[0050] \quad y_0 = K \frac{(E_A + E_B) - (E_C + E_D)}{E_A + E_B + E_C + E_D} = K \frac{(S_A + S_B) - (S_C + S_D)}{S_A + S_B + S_C + S_D}$$

[0051]  $x_0$ ,  $y_0$ 分别是光斑中心在四象限探测器坐标系上的坐标,通过光斑中心的位置,可以对高压铁塔的位置进行指示,从而使得无人机沿着该光斑所指定的方位飞行。

[0052] 比如,  $x_0, y_0 = (1, 4)$ , 通过调整无人机的飞行方向, 使得该四象限探测器坐标系上显示的光斑中心的能够回到  $(0, 0)$ , 这样, 就能保证无人机是沿着高压铁塔所指定的方向飞行。

[0053] 通过一边控制无人机的飞行高度, 一边控制无人机的飞行方向, 使得无人机实现自主巡线。

[0054] 该机载模块10的具体模块示意图如图7所示。

[0055] 该系统能够实现无人机在电力巡线时自定检测与高线之间的距离, 能够准确定位高压输电线铁塔的具体位置, 有助于实现巡线无人机安全、准确地自主巡线, 提高巡线效率, 保障无人机飞行安全, 能产生可观的经济效益。

[0056] 半主动激光引导技术可以提供精确的定位, 使无人机能够精确定位铁塔的位置。激光目标指示器有较远的发射距离, 可以引导无人机做较远的飞行。此外,  $10.6\mu\text{m}$ 波长的激光具有良好的穿透性, 能在较差天气环境下工作。

[0057] 电场检测单元能够使无人机在飞行过程中保持与输电线的安全距离, 免受高压输电线电场干扰, 避免了无人机与电线的碰撞, 避免造成高压输电线路输电中断和无人机坠毁等事故的发生。

[0058] 本发明成果应用于无人机上, 将使得无人机的探测回避系统更加完善和智能, 提高无人机的飞行安全和效率, 有助于无人机的规模化应用。本研究成果的应用, 也能使操作控制者从高度集中的控制工作中解脱出来。

[0059] 该系统采用小型化设计以满足机载设备对体积小、重量轻的要求; 采用电磁兼容性设计, 以提高系统的可靠性和电磁兼容性。

[0060] 尽管已描述了本发明的优选实施例, 但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念, 则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以, 所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本发明范围的所有变更和修改。

[0061] 显然, 本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样, 倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内, 则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

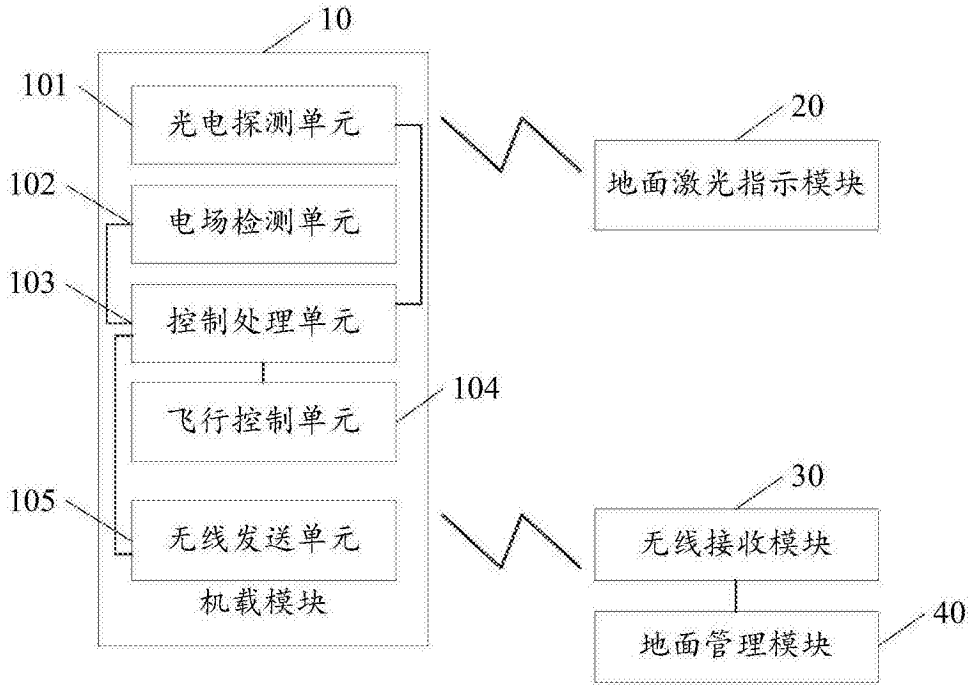


图1



图2

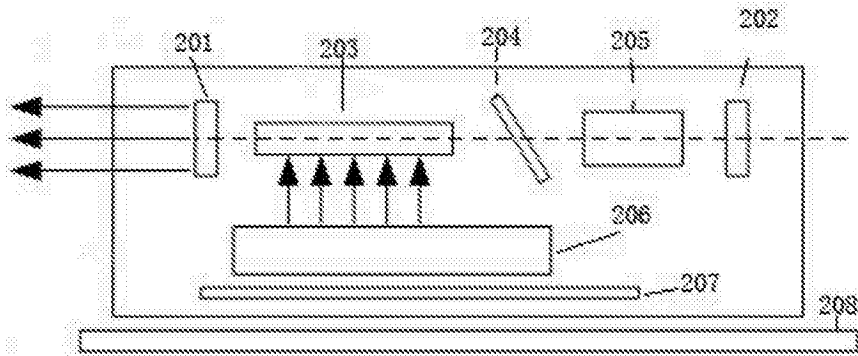


图3

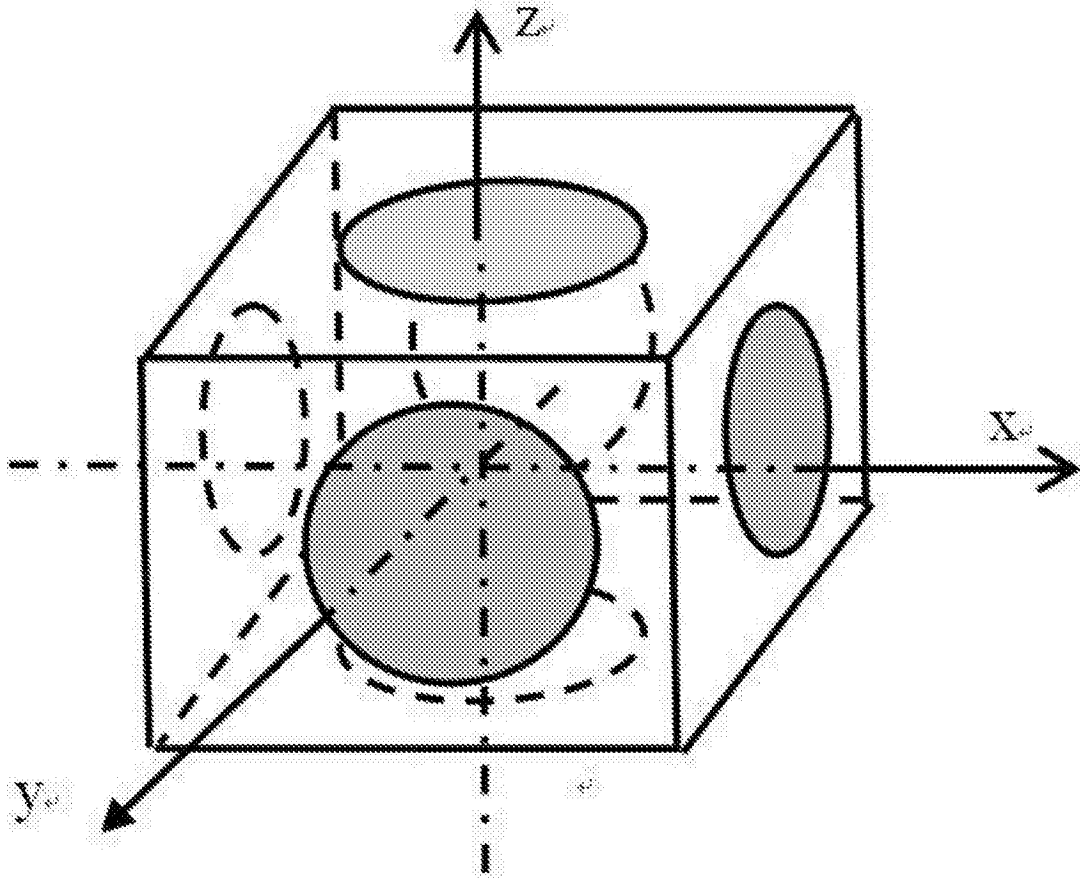


图4

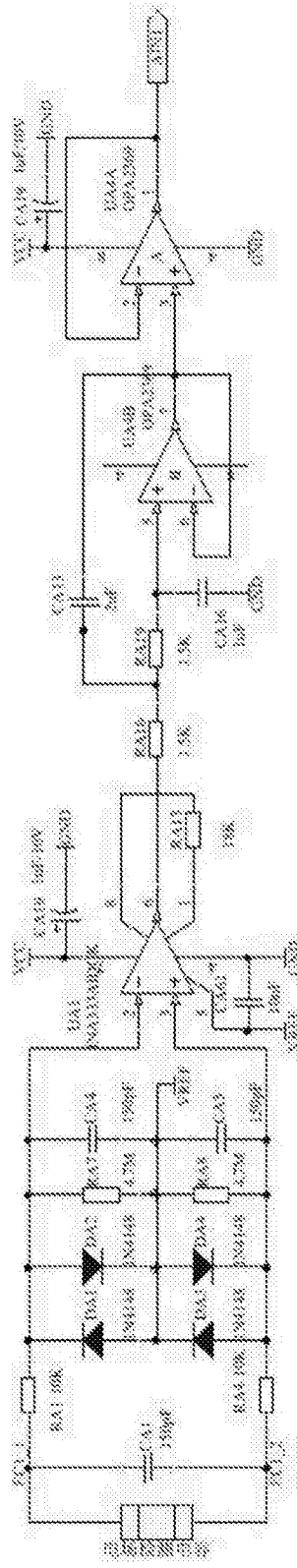


图5

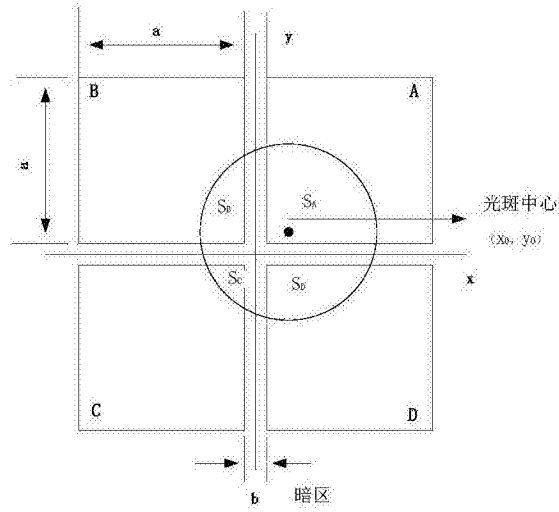


图6

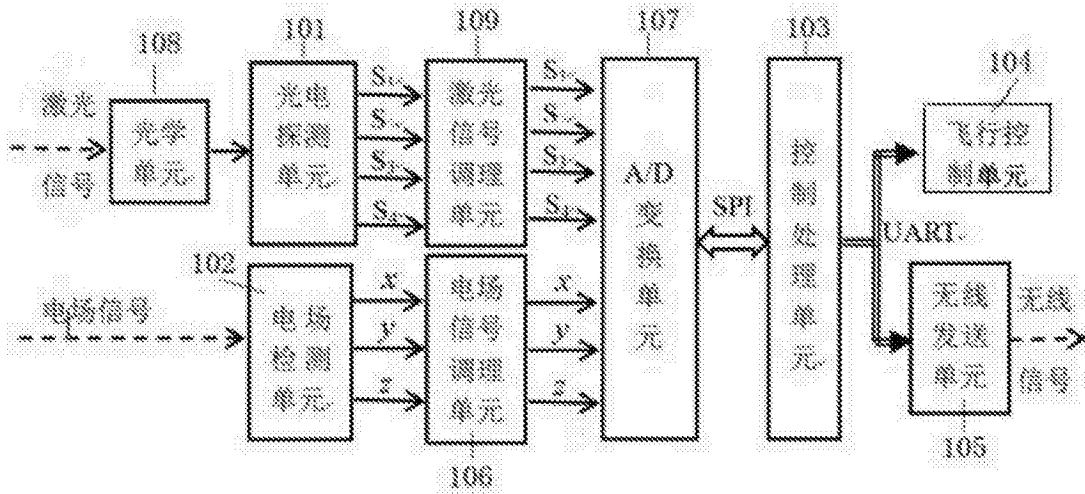


图7