



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116299727 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 23

(21) 申请号 202310200706.1

(22) 申请日 2023.03.03

(71) 申请人 中国地质调查局地球物理调查中心
地址 065000 河北省廊坊市广阳区丰盛路
159号

(72) 发明人 郭鹏 任堃 杨煜坤 宋炯

(74) 专利代理机构 成都宏田知识产权代理事务
所(普通合伙) 51337
专利代理师 徐鹏

(51) Int.Cl.

G01V 3/16 (2006.01)

G01V 3/165 (2006.01)

G01C 21/20 (2006.01)

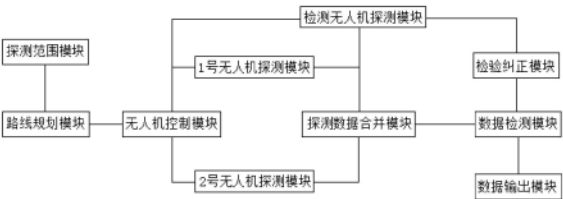
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种无人机频域多频电磁探测方法及探测系统

(57) 摘要

本发明公开了一种无人机频域多频电磁探测方法及探测系统,探测方法包括以下步骤:S1、确定待探测区域;S2、对待探测区域规划两条探测路线;S3、控制1号、2号无人机探测模块分别按照两条探测路径进行区域探测操作;S4、将探测到的数据信息合并得到探测区域数据图纸;S5、对探测区域数据图纸进行检测;当存在冲突时,进行步骤S6;S6、令检测无人机探测模块进行再次探测操作;S7、通过再次探测结果生成新的探测区域数据图纸;S8、重复步骤S5~S7,直至输出符合探测要求的探测区域数据图纸。探测系统包括探测范围模块、路线规划模块、无人机控制模块、1号和2号无人机探测模块、探测数据合并模块、数据检测模块、数据输出模块。



1. 一种无人机频域多频电磁探测方法,其特征在于:包括以下步骤:

S1、通过探测范围模块对待探测区域进行确定;

S2、使用路线规划模块对确定后的待探测区域进行探测路线规划,探测路线规划为两条探测路径且两条探测路径交叉分布在待探测区域内;

S3、令无人机控制模块控制1号无人机探测模块、2号无人机探测模块分别按照两条探测路径进行区域探测操作;

S4、1号无人机探测模块、2号无人机探测模块将探测到的数据信息传输给探测数据合并模块并通过数据合并操作得到探测区域数据图纸;

S5、使用数据检测模块对探测区域数据图纸进行检测,以确定探测区域数据图纸中1号无人机探测模块所探测区域的探测数据与2号无人机探测模块所探测区域的探测数据是否存在冲突;当不存在冲突时,则通过数据输出模块对探测区域数据图纸进行输出;当存在冲突时,则将冲突数据信息传输给检验纠正模块进行检验纠正操作;

S6、检验纠正模块令检测无人机探测模块进行启动,并根据冲突数据信息对冲突区域进行再次探测操作,并将探测结果传输到探测数据合并模块;

S7、探测数据合并模块将检测无人机探测模块的探测结果与步骤S4得到的探测区域数据图纸进行合并,生成新的探测区域数据图纸;

S8、重复步骤S5~S7,直至数据输出模块输出符合探测要求的探测区域数据图纸,完成探测区域的地质探测操作。

2. 如权利要求1所述的无人机频域多频电磁探测方法,其特征在于:所述步骤S3中,1号无人机探测模块、2号无人机探测模块分别按照两条探测路径进行区域探测操作时,1号无人机探测模块、2号无人机探测模块的起始地点分别位于待探测区域的两端。

3. 一种用于实施如权利要求1所述的无人机频域多频电磁探测方法的无人机频域多频电磁探测系统,其特征在于:所述无人机频域多频电磁探测系统包括用于对待探测区域进行确定的探测范围模块、用于对探测路径进行规划的路线规划模块、用于对无人机探测模块进行控制的无人机控制模块、用于进行探测操作的1号无人机探测模块和2号无人机探测模块、用于对探测数据进行合并的探测数据合并模块、用于对合并后的数据进行检测的数据检测模块、用于对探测结果进行输出的数据输出模块;探测范围模块的信号输出端与路线规划模块的信号输入端相连接,路线规划模块的信号输出端与无人机控制模块的信号输入端相连接,无人机控制模块的信号输出端分别与1号无人机探测模块、2号无人机探测模块的信号输入端相连接,1号无人机探测模块、2号无人机探测模块的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接,探测数据合并模块的信号输出端与数据检测模块的信号输入端相连接,数据检测模块的信号输出端与数据输出模块的信号输入端相连接。

4. 如权利要求3所述的无人机频域多频电磁探测系统,其特征在于:所述无人机频域多频电磁探测系统还包括用于对合并后探测数据进行检测的检测纠正模块、用于对冲突区域进行再次探测的检测无人机探测模块,检测纠正模块的信号输入端与数据检测模块的信号输出端相连接,检测纠正模块的信号输出端、无人机控制模块的信号输出端均与检测无人机探测模块的信号输入端相连接,检测无人机探测模块的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接。

5. 如权利要求4所述的无人机频域多频电磁探测系统,其特征在于:所述1号无人机探

测模块、2号无人机探测模块、检测无人机探测模块均包括用于进行飞行操作的无人机飞行单元、用于进行多频电磁探测操作的电磁探测单元；所述无人机飞行单元的信号输入端与无人机控制模块的信号输出端相连接，电磁探测单元的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接。

6.如权利要求5所述的无人机频域多频电磁探测系统，其特征在于：所述电磁探测单元包括若干个用于产生一次电磁场的发射线圈、若干个与发射线圈相对应并接收二次磁场反馈信号的接收线圈、用于降低一次电磁场影响的补偿线圈、用于对接收线圈接收的信号进行采集的中央采集单元，若干个接收线圈以及补偿线圈均与中央采集单元的信号输入端相连接，中央采集单元的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接。

7.如权利要求6所述的无人机频域多频电磁探测系统，其特征在于：所述无人机飞行单元包括作为动力的动力电机、用于进行飞行操作的螺旋桨、用于分别方位角度的陀螺仪、用于进行定位操作的GPS定位器；所述动力电机与螺旋桨传动连接，动力电机的信号输入端与无人机控制模块的信号输出端相连接；所述陀螺仪、GPS定位器的信号输出端与无人机控制模块的信号输入端相连接。

8.如权利要求7所述的无人机频域多频电磁探测系统，其特征在于：所述无人机飞行单元还包括用于对无人机高度进行监测的高度传感器、用于对环境黑暗度进行监测的光敏传感器、用于黑暗照明的探照灯；所述高度传感器、光敏传感器的信号输出端与无人机控制模块的信号输入端相连接，光敏传感器与探照灯电性连接。

一种无人机频域多频电磁探测方法及探测系统

技术领域

[0001] 本发明涉及地质探测技术领域,尤其涉及一种无人机频域多频电磁探测方法及探测系统。

背景技术

[0002] 工程与环境地质问题大多涉及浅层(近地表层)探测与评价,近年来,用于浅层地球物理勘查的新技术新仪器不断涌现。在地球物理勘查技术中,电磁法勘查是一种常用的地球物理方法,主要用于UX0探测、地下水调查、地下固体废物与污染物探测、考古寻宝、土壤评价及城市管线探测等。电磁探测技术是工程和环境地球物理勘查中最有效的技术之一,目前,国内外主要是开发应用时间域航空电磁测量系统,该系统体系庞大,结构复杂,多基于有人机开发,人力物力成本高昂,且飞行作业空域受限。

[0003] 频率域多频电磁探测是一种更为高效精确的方法,频率域电磁探测仪器利用发射频率的变化或收发距的变化来实现对不同深度的目标体进行探测,也可以利用发射线圈与接收线圈的不同结构来提高仪器的探测能力和探测效果。因此开发基于无人机的频率域航空多频电磁测量系统,可以缩小设备体积,同时无人驾驶更加安全,可以有效降低人力物力。

[0004] 然而,使用单个无人机探测装置进行探测作业时其工作效率较低,探测时间较长,降低了地质探测作业的工作效率;同时频率域电磁探测仪器在探测作业过程中,会存在探测数据不准确或探测数据出错等问题,严重影响了地质探测结果的准确性,因此,有必要对其进行改进。

发明内容

[0005] 本发明目的是针对上述问题,提供一种提高探测速率以及探测准确性的无人机频域多频电磁探测方法及探测系统。

[0006] 为了实现上述目的,本发明的技术方案是:

[0007] 一种无人机频域多频电磁探测方法,包括以下步骤:

[0008] S1、通过探测范围模块对待探测区域进行确定;

[0009] S2、使用路线规划模块对确定后的待探测区域进行探测路线规划,探测路线规划为两条探测路径且两条探测路径交叉分布在待探测区域内;

[0010] S3、令无人机控制模块控制1号无人机探测模块、2号无人机探测模块分别按照两条探测路径进行区域探测操作;

[0011] S4、1号无人机探测模块、2号无人机探测模块将探测到的数据信息传输给探测数据合并模块并通过数据合并操作得到探测区域数据图纸;

[0012] S5、使用数据检测模块对探测区域数据图纸进行检测,以确定探测区域数据图纸中1号无人机探测模块所探测区域的探测数据与2号无人机探测模块所探测区域的探测数据是否存在冲突;当不存在冲突时,则通过数据输出模块对探测区域数据图纸进行输出;当

存在冲突时,则将冲突数据信息传输给检验纠正模块进行检验纠正操作;

[0013] S6、检验纠正模块令检测无人机探测模块进行启动,并根据冲突数据信息对冲突区域进行再次探测操作,并将探测结果传输到探测数据合并模块;

[0014] S7、探测数据合并模块将检测无人机探测模块的探测结果与步骤S4得到的探测区域数据图纸进行合并,生成新的探测区域数据图纸;

[0015] S8、重复步骤S5~S7,直至数据输出模块输出符合探测要求的探测区域数据图纸,完成探测区域的地质探测操作。

[0016] 进一步的,所述步骤S3中,1号无人机探测模块、2号无人机探测模块分别按照两条探测路径进行区域探测操作时,1号无人机探测模块、2号无人机探测模块的起始地点分别位于待探测区域的两端。

[0017] 一种无人机频域多频电磁探测系统,包括用于对待探测区域进行确定的探测范围模块、用于对探测路径进行规划的路线规划模块、用于对无人机探测模块进行控制的无人机控制模块、用于进行探测操作的1号无人机探测模块和2号无人机探测模块、用于对探测数据进行合并的探测数据合并模块、用于对合并后的数据进行检测的数据检测模块、用于对探测结果进行输出的数据输出模块;探测范围模块的信号输出端与路线规划模块的信号输入端相连接,路线规划模块的信号输出端与无人机控制模块的信号输入端相连接,无人机控制模块的信号输出端分别与1号无人机探测模块、2号无人机探测模块的信号输入端相连接,1号无人机探测模块、2号无人机探测模块的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接,探测数据合并模块的信号输出端与数据检测模块的信号输入端相连接,数据检测模块的信号输出端与数据输出模块的信号输入端相连接。

[0018] 进一步的,所述无人机频域多频电磁探测系统还包括用于对合并后探测数据进行检测的检测纠正模块、用于对冲突区域进行再次探测的检测无人机探测模块,检测纠正模块的信号输入端与数据检测模块的信号输出端相连接,检测纠正模块的信号输出端、无人机控制模块的信号输出端均与检测无人机探测模块的信号输入端相连接,检测无人机探测模块的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接。

[0019] 进一步的,所述1号无人机探测模块、2号无人机探测模块、检测无人机探测模块均包括用于进行飞行操作的无人机飞行单元、用于进行多频电磁探测操作的电磁探测单元;所述无人机飞行单元的信号输入端与无人机控制模块的信号输出端相连接,电磁探测单元的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接。

[0020] 进一步的,所述电磁探测单元包括若干个用于产生一次电磁场的发射线圈、若干个与发射线圈相对应并接收二次磁场反馈信号的接收线圈、用于降低一次电磁场影响的补偿线圈、用于对接收线圈接收的信号进行采集的中央采集单元,若干个接收线圈以及补偿线圈均与中央采集单元的信号输入端相连接,中央采集单元的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接。

[0021] 进一步的,所述无人机飞行单元包括作为动力的动力电机、用于进行飞行操作的螺旋桨、用于分别方位角度的陀螺仪、用于进行定位操作的GPS定位器;所述动力电机与螺旋桨传动连接,动力电机的信号输入端与无人机控制模块的信号输出端相连接;所述陀螺仪、GPS定位器的信号输出端与无人机控制模块的信号输入端相连接。

[0022] 进一步的,所述无人机飞行单元还包括用于对无人机高度进行监测的高度传感

器、用于对环境黑暗度进行监测的光敏传感器、用于黑暗照明的探照灯；所述高度传感器、光敏传感器的信号输出端与无人机控制模块的信号输入端相连接，光敏传感器与探照灯电性连接。

[0023] 与现有技术相比，本发明具有的优点和积极效果是：

[0024] 本发明通过设置两条交叉分布的探测路径，然后令无人机控制模块控制1号无人机探测模块、2号无人机探测模块分别对两条探测路径进行探测作业，最后通过探测数据合并模块将两个无人机探测模块的探测数据进行合并即可得到最终的探测区域地质探测数据；其可以将整个探测区域的探测时长缩短一半，有效提高了地质探测作业的工作效率；同时，通过对两个无人机探测模块的探测结果进行合并检测，可以检测出两个无人机探测模块所探测区域的交界处是否存在冲突现象，若存在冲突现象，则说明其中一个无人机探测模块的探测数据存在问题，此时通过检测纠正模块以及检测无人机探测模块对存在冲突的地质区域进行再次探测，确定最终的探测结果并找寻到存在问题的无人机探测模块进行维护操作；其有效提高了地质探测作业的准确性，为地质探测领域作出了一定的贡献。

附图说明

[0025] 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一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0026] 图1为本发明中两个探测路径的示意图；

[0027] 图2为无人机频域多频电磁探测系统的框架结构图；

[0028] 图3为无人机探测模块的连接结构图；

[0029] 图4为电磁探测单元的框架结构图；

[0030] 图5为无人机飞行单元的框架结构图。

具体实施方式

[0031] 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，^{所述的任何修改 等同替换 改进等 均应包含}在本发明的保护范围之内。

[0032] 本实施例公开了一种无人机频域多频电磁探测方法，包括以下步骤：

[0033] S1、通过探测范围模块对待探测区域进行确定；

[0034] S2、使用路线规划模块对确定后的待探测区域进行探测路线规划，探测路线规划为两条探测路径且两条探测路径交叉分布在待探测区域内；

[0035] S3、令无人机控制模块控制1号无人机探测模块、2号无人机探测模块分别按照两条探测路径进行区域探测操作；1号无人机探测模块、2号无人机探测模块分别按照两条探测路径进行区域探测操作时，1号无人机探测模块、2号无人机探测模块的起始地点分别位于待探测区域的两端；如图1所示；

[0036] S4、1号无人机探测模块、2号无人机探测模块将探测到的数据信息传输给探测数

据合并模块并通过数据合并操作得到探测区域数据图纸；

[0037] S5、使用数据检测模块对探测区域数据图纸进行检测，以确定探测区域数据图纸中1号无人机探测模块所探测区域的探测数据与2号无人机探测模块所探测区域的探测数据是否存在冲突；当不存在冲突时，则通过数据输出模块对探测区域数据图纸进行输出；当存在冲突时，则将冲突数据信息传输给检验纠正模块进行检验纠正操作；

[0038] S6、检验纠正模块令检测无人机探测模块进行启动，并根据冲突数据信息对冲突区域进行再次探测操作，并将探测结果传输到探测数据合并模块；

[0039] S7、探测数据合并模块将检测无人机探测模块的探测结果与步骤S4得到的探测区域数据图纸进行合并，生成新的探测区域数据图纸；

[0040] S8、重复步骤S5~S7，直至数据输出模块输出符合探测要求的探测区域数据图纸，完成探测区域的地质探测操作。

[0041] 如图2至图5所示，本实施例还公开了一种无人机频域多频电磁探测系统，包括用于对待探测区域进行确定的探测范围模块、用于对探测路径进行规划的路线规划模块、用于对无人机探测模块进行控制的无人机控制模块、用于进行探测操作的1号无人机探测模块和2号无人机探测模块、用于对探测数据进行合并的探测数据合并模块、用于对合并后的数据进行检测的数据检测模块、用于对探测结果进行输出的数据输出模块；

[0042] 探测范围模块的信号输出端与路线规划模块的信号输入端相连接，路线规划模块的信号输出端与无人机控制模块的信号输入端相连接，无人机控制模块的信号输出端分别与1号无人机探测模块、2号无人机探测模块的信号输入端相连接，1号无人机探测模块、2号无人机探测模块的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接，探测数据合并模块的信号输出端与数据检测模块的信号输入端相连接，数据检测模块的信号输出端与数据输出模块的信号输入端相连接。

[0043] 所述无人机频域多频电磁探测系统还包括用于对合并后探测数据进行检测的检测纠正模块、用于对冲突区域进行再次探测的检测无人机探测模块，检测纠正模块的信号输入端与数据检测模块的信号输出端相连接，检测纠正模块的信号输出端、无人机控制模块的信号输出端均与检测无人机探测模块的信号输入端相连接，检测无人机探测模块的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接。

[0044] 所述1号无人机探测模块、2号无人机探测模块、检测无人机探测模块均包括用于进行飞行操作的无人机飞行单元、用于进行多频电磁探测操作的电磁探测单元；所述无人机飞行单元的信号输入端与无人机控制模块的信号输出端相连接，电磁探测单元的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接。

[0045] 无人机飞行单元主要提供按路径飞行的操作，电磁探测单元则主要实现频率域电磁勘探操作，频率域电磁勘探是一种建立在电磁感应原理基础上的频率域磁偶源探测方法，其数学物理基础是基于导电介质在变化激励磁场激发下而引起的涡流场问题，满足麦克斯韦方程组。接收线圈有水平共面（垂直磁偶源）和垂直共面（水平磁偶源）两种线圈模式，其他的磁偶源频率域电磁仪器也多采用这两种装置类型。根据线圈模式的不同，探测系统的数据采集方式分为水平共面线圈（垂直磁偶源）和垂直共面线圈（水平磁偶源）两种，而水平共面线圈方式是目前应用相对较多的方法，其探测深度较垂直共面线圈大。本方案中的电磁探测单元采用水平共面线圈采集数据。

[0046] 所述无人机飞行单元包括作为动力的动力电机、用于进行飞行操作的螺旋桨、用于分别方位角度的陀螺仪、用于进行定位操作的GPS定位器、用于对无人机高度进行监测的高度传感器、用于对环境黑暗度进行监测的光敏传感器、用于黑暗照明的探照灯；所述动力电机与螺旋桨传动连接，动力电机的信号输入端与无人机控制模块的信号输出端相连接；所述陀螺仪、GPS定位器、高度传感器、光敏传感器的信号输出端与无人机控制模块的信号输入端相连接，光敏传感器与探照灯电性连接。

[0047] 所述电磁探测单元包括若干个用于产生一次电磁场的发射线圈、若干个与发射线圈相对应并接收二次磁场反馈信号的接收线圈、用于降低一次电磁场影响的补偿线圈、用于对接收线圈接收的信号进行采集的中央采集单元，若干个接收线圈以及补偿线圈均与中央采集单元的信号输入端相连接，中央采集单元的信号输出端与探测数据合并模块的信号输入端相连接。

[0048] 发射线圈、补偿线圈、接收线圈为固定的共面线圈，发射线圈与相对应接收线圈之间的间距为1.5m；工作频率范围为30Hz~95kHz，可同时进行多个频率的数据采集。探测以地下介质的电性和磁性为基础，通过发射线圈产生一个包含不同频率的一次低频电磁场，一次磁场在地下的良导体中感应出微弱的涡流电场，由此涡流产生一个二级磁场并与经空气传播的初级磁场叠加在一起被接收线圈检测和记录。接收线圈接收到的信号中，能够反映地下介质电导率信息的仅二次场信号，因此在对采集数据进行处理之前必须去除一次场，通过补偿线圈的补偿作用把一次场影响降到最低。

[0049] 本发明通过设置两条交叉分布的探测路径，然后令无人机控制模块控制1号无人机探测模块、2号无人机探测模块分别对两条探测路径进行探测作业，最后通过探测数据合并模块将两个无人机探测模块的探测数据进行合并即可得到最终的探测区域地质探测数据；其可以将整个探测区域的探测时长缩短一半，有效提高了地质探测作业的工作效率；同时，通过对两个无人机探测模块的探测结果进行合并检测，可以检测出两个无人机探测模块所探测区域的交界处是否存在冲突现象（例如两个无人机探测模块检测到其交界位置为两种完全不同的地质条件的现象），若存在冲突现象，则说明其中一个无人机探测模块的探测数据存在问题，此时通过检测纠正模块以及检测无人机探测模块对存在冲突的地质区域进行再次探测，确定最终的探测结果并找寻到存在问题的无人机探测模块进行维护操作；其有效提高了地质探测作业的准确性，为地质探测领域作出了一定的贡献。



图3

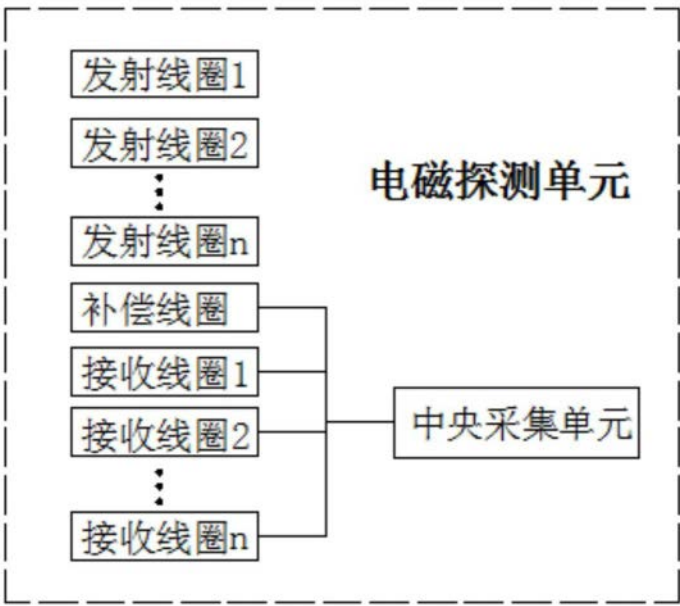


图4

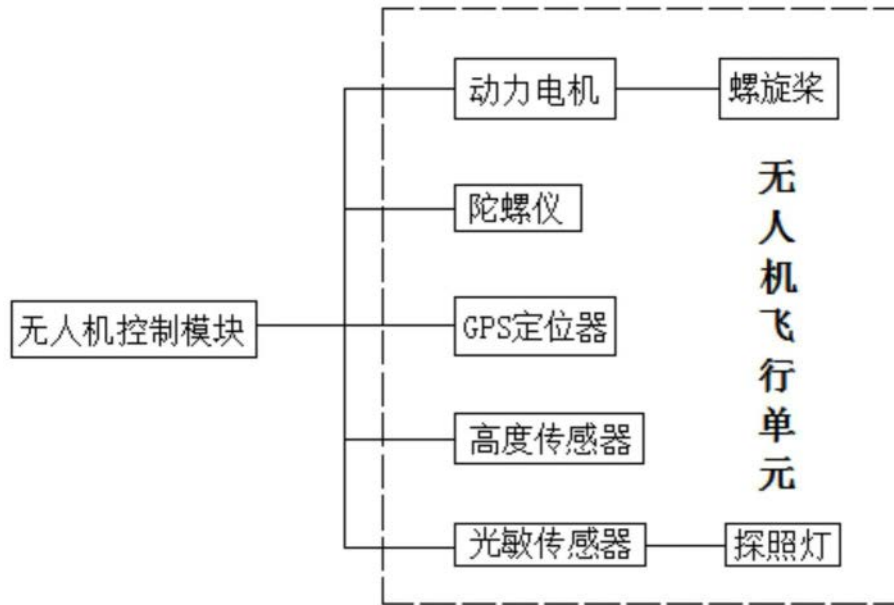


图5