

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 1 月 18 日 (18.01.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/012000 A1

- (51) 国际专利分类号:
B64C 27/08 (2023.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/090241
- (22) 国际申请日: 2023 年 4 月 24 日 (24.04.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202210834850.6 2022年7月15日 (15.07.2022) CN
- (71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (72) 发明人: 沈跃 (SHEN, Yue); 中国江苏省南京市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。储金城 (CHU, Jincheng); 中国江苏省南京市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。施志翔 (SHI, Zhixiang); 中国江苏省南京市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。沈亚运 (SHEN, Yayun); 中国

江苏省南京市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。张凌飞 (ZHANG, Lingfei); 中国江苏省南京市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。刘铭晖 (LIU, Minghui); 中国江苏省南京市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。王德伟 (WANG, Dewei); 中国江苏省南京市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。李奕岑 (LI, Yicen); 中国江苏省南京市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。孙志伟 (SUN, Zhiwei); 中国江苏省南京市京口区学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。

(74) 代理人: 南京智造力知识产权代理有限公司 (NANJING IPZHI INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国江苏省南京市江宁区芝兰路 18 号 4 幢 1202 室, Jiangsu 211100 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,

(54) Title: LINEAR MULTI-ROTOR PLANT PROTECTION UNMANNED AERIAL VEHICLE STRUCTURE BASED ON TILT ROTORS AND CONTROL METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机结构及控制方法

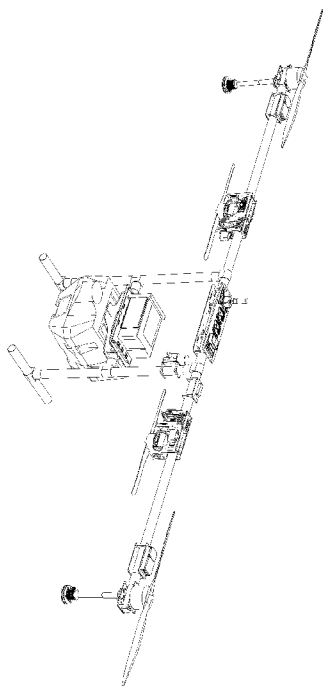


图 1

(57) Abstract: A linear multi-rotor plant protection unmanned aerial vehicle structure based on tilt rotors and a control method therefor. The structure comprises main lifting power structures, tilt power structures and a main rack structure, wherein the main rack structure is located in a middle section, the main lifting power structures are distributed at left and right ends of the main rack structure, and the tilt power structures are symmetrically distributed between the main rack structure and the main lifting power structures; and a vector power structure. The pose changes flexibly, it can be guaranteed that the operation of an unmanned aerial vehicle is smoother and more accurate, the operating efficiency is improved, and the structure is suitable for a complex operating environment having a varied terrain in China.

(57) 摘要: 一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机结构及控制方法, 包括主升动力结构、倾转动力结构、主体机架结构; 主体机架结构位于中间段; 主升动力结构分布在主体机架结构的左右两端, 倾转动力结构对称分布在主体机架机构和主升动力结构之间; 矢量式动力结构, 航姿变化灵活, 能够保证无人机作业更为平滑、精准, 提高作业效率, 同时适应国内地形多变的复杂作业环境。

IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN,
MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,
PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR,
HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN,
TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机结构及控制方法

技术领域

本发明涉及无人机控制和农业植保领域，是一种通过倾转旋翼调整姿态的直线型多旋翼植保无人机及控制方法。

背景技术

近年来，农业领域众多技术变革促进我国开始由农业大国向农业强国转变，集约化农业、精细化农业的提出，要求将科技融于农业之中。在农业植保领域，植保无人机的涌现预示着植保无人机代替传统喷雾机进行田间植保作业已被广泛认可。植保无人机不仅拥有更高的作业效率，还拥有比人工喷雾更好的喷洒效果，然而，现阶段植保无人机在实际应用中仍存在着诸多问题。

现阶段植保无人机主要为四旋翼无人机、固定翼无人机、直升机等。多旋翼无人机采用电机驱动，虽然成本低，但是因为体型较小、带载能力差、作业喷幅窄，并且旋翼间扰流作用明显，作业效率差，无法满足高效精细化作业的需求。固定翼植保无人机飞行高度高，滞空时间长，但是下压风场小，雾滴穿透性差、附着率低。同时，固定翼需要经过专业训练的飞手，个体种植户一般无法使用。植保直升机采用燃油驱动，在一定程度上可弥补前两者的缺陷，但其成本较高，后期维护价格高昂，对于飞手的整体素质要求更高，对农户的经济压力较大。专利 CN202023305357.0 中提出的直线型多旋翼植保飞行器通过直线型的结构，有效拓展作业喷幅，减

小旋翼扰流作用，但控制困难，需要多个姿态调整电机维持飞行器姿态稳定，能源利用率差。

发明内容

针对以上问题，本发明提出了一种直线型倾转翼植保无人机及控制方法，利用倾转式结构，有效结合了直线型飞行器作业喷幅宽和固定翼能源利用率高的优点，满足现代化农业的需求。直线型机械结构直接增加无人机作业喷雾面积，同时“一”字型旋翼布局有效减小干扰，使旋翼下压风场均匀充分作业，减少由于重复作业造成的农药浪费。倾转翼结构电机的能源利用率高，航姿变化灵活，能够保证无人机作业更为平滑、精准。

本发明公开一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机。该植保无人机主要针对我国分散型种植地块，在大面积连续作业场景，一次性作业喷幅大，作业效率高。

本发明的技术方案包括：一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机结构，包括主升动力结构、倾转动力结构、主体机架结构；主体机架结构位于中间段；主升动力结构分布在主体机架结构的左右两端，倾转动力结构对称分布在主体机架机构和主升动力结构之间；

主升动力结构包括主升桨叶 1、主升电机 2、主升电机固定板 3、主升电调 4、第一管夹、离心喷头 6、分控固定板 7、主升分控电路板 8、主杆 9；主升桨叶 1 通过螺丝和主升电机 2 固定，主升电机 2 通过螺丝固定于主升电机固定板 3 上，再通过第一管夹夹持，

与下端的离心喷头 6 一起固定在主杆 9 上；主升电调 4 和主升分控板 8 分别固定在两块分控固定板 7 上，通过第一管夹固定在主杆 9，主升分控板 8 接收来自控制板 26 的命令，向主升电调 4 给出信号，从驱动主升电机 2 转动，离心喷头 6 内部集成电机电调，可直接通过接收主升分控电路板 8 的 PWM 信号驱动调速；

倾转动力结构包括倾转碳板 10、倾转分控电路板 11、舵机固定铝件 12、舵机 13、倾转电调 14、夹持铝件 15、第二管夹、倾转电机固定板 17、轴承固定铝件 18、倾转碳管 19、轴承 20、倾转电机 21、倾转桨叶 22；倾转碳板 10 上部通过螺丝固定倾转分控板 11 和倾转电调 14；两块倾转碳板 10 上部通过第一管夹固定在主杆 9 上；倾转碳板 10 下端的中间部位设有倾转碳管 19，倾转碳管 19 两端通过两个轴承 20、两个第二管夹固定，轴承固定铝件 18 用于固定轴承 20，两个夹持铝件 15 一方面共同箍住倾转碳管 19，另一方面倾转碳管 19 上有一个穿孔，使夹持铝件 15 固定位置相对一致；靠近倾转碳管 19 一端的位置设有舵机固定铝件 12，舵机固定铝件 12 固定舵机 13，舵机 13 输出轴嵌套在夹持铝件 15 的凹槽内，带动整个倾转碳管 19 转动；倾转电机 21 上通过螺帽固定倾转桨叶 22；倾转电机固定板 17 上倾转电机 21 的安装孔，可连接两个第二管夹固定在倾转碳管 19 上；

主体机架结构包括水平仪 23、惯性导航模块 24、减震垫 25、控制板 26、GPS 天线 27、烧录器 28、遥控器接收机 29、三通 30、小电池 31、小电池固定板 32、水泵固定板 33、水泵 34、机载电池

35、电池固定板 36、横杆 37、插销板 38、水箱固定板 39、脚架碳管 40、水箱 41、水位计 42、起落碳管 43、固定碳板 44；惯性导航模块 24、烧录器 28、遥控器接收机 29、水位计 42 通过控制板 26 上的接口和控制板 26 连接，向控制板 26 传递数据，小电池 31 通过控制板 26 上的电池接口，给控制板 26 和上述传感器供电；水平仪 23、减震垫 25、控制板 26、GPS 天线 27、烧录器 28、接收器 29 一起通过螺丝和固定碳板 44 硬连接；两个脚架碳管 40 通过三通 30 连接固定在主杆 9；两个固定碳板 44 通过四个第一管夹、螺丝螺母固定在主杆 9 上；水泵固定板 33 通过两个第一管夹固定在脚架碳管 40 上，其上有水泵 34 的定位安装孔，方便水泵 34 的固定；小电池 31 通过电池扎带绑定在小电池固定板 32 上，可快速更换；小电池固定板 32 通过两个第一管夹固定在主杆 9 上；插销板 38 和水箱固定板 39 有相同的管夹定位孔，通过四个第一管夹固定在横杆 37 上，横杆 37 通过三通 30 与脚架碳管 40 连接；机载电池 35 是无人机主要的供电模块，通过电池扎带固定在电池固定板 36 上，电池固定板 36 通过滑槽与插销板 38 连接；水箱固定板 39 上有水箱 41 的定位安装孔，便于水箱固定；水位计 42 位于水箱 41 底部，依据超声波原理测量水箱的水位高度；两个脚架碳管 40 通过两个三通 30 分别与起落碳管 43 固定连接，用于无人机的落地缓冲。

进一步，所述夹持铝件 15 采用长舵臂的结构，可有效减少舵机 13 高频转动的齿轮磨损，同时倾转碳板 10 上留有足够裕量的空间，方便舵机 13 连接的夹持铝件 15 的 360 度转动。

进一步，惯性导航模块 24 通过三层减震材料与减震垫 25 粘连在一起；水平仪 23 用来对无人机初始角度进行零偏校准；GPS 天线 27 用于惯性导航模块 24 接收 GNSS 数据；烧录器 28 用来无人机的软件测试；接收器 29 负责接收遥控器指令，将数据传输给控制板 26。

进一步，插销板 38 上有滑槽结构，和提拉插销的定位孔，便于电池的快速更换。

本发明的一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机结构控制方法，包括以下步骤：

步骤 1，分别建立无人机的三轴转动和平动动力学模型；

步骤 2，主控芯片初始化，外接传感器初始化；

步骤 3，无人机传感器自检，若自检不正常则通过外拓灯带显示报警并重复步骤 3，若正常则进行步骤 4；

步骤 4，等待使用人机交互解锁，无人机从自锁状态切换到等待起飞状态；

步骤 5，接收人机交互数据，无人机进行任务切换，任务具体为姿态模式、定高模式、定点模式以及一键降落模式，当 GPS 信号弱或丢失时，会强制从定点模式切换成定高模式。姿态模式下，无人机将读取和控制姿态角度、角速度相关信息；定高模式下，无人机将读取和控制姿态角度、角速度、速度和飞行高度信息；定点模式下，无人机将读取和控制姿态角度、角速度、速度、位置信息并支持航迹规划和跟踪功能；一键降落模式下，无人机会结束当前任

务，原地慢慢下降；根据步骤 1 所建立的倾转翼植保无人机动力学模型，采用 PID 和自抗扰控制器相结合、串级控制和并级控制相结合的复合控制方式；为应对超长机身带来的控制信号容易丢失的问题，采用基于 CAN 通讯的主控-分控的主从控制策略；

步骤 6，无人机安全着陆后，系统控制关闭，返回步骤 4。

本发明的主升桨叶 1 为 32 寸碳纤维复合桨叶，负责提供持续稳定的下压风场和升力。主升电机 2 水平固定向主升桨叶 1 提供动力。针对不同电机旋转易产生耦合，设置主升电机 2 转速相同、转向相反，消除耦合。本发明的倾转桨叶 22 为 22 寸碳纤维复合桨叶，负责提供俯仰和偏航变化的升力。倾转电机 21 通过螺丝螺母固定在倾转电机固定板 17 上，并通过 25mm 管夹 16 固定于倾转碳管 19 上，保证电机与舵机同轴转动。通过控制舵机带动电机改变转向，完成俯仰角与偏航角的变化，增加整机的灵活性和续航时间。机身中部配有脚架碳管 40，提供起飞与降落稳定点。机载电池 35 存放在机架横向碳杆伸出电池固定板 36 上端，作业药箱 41 固定在平面下端，确保整机重心位于主杆中下方，利于平衡控制。

考虑到直线型倾转多旋翼植保无人机采用一根 3 米长的碳管主杆 9 作为主要的承载、移动平台，信号线的排布较长易受干扰，本发明采用一种基于 CAN 总线通讯的主发从控的交互控制。控制板 26 为感知、运算和控制的主控板，倾转分控电路板 11 则通过 CAN 总线接受主控板指令，直接控制电机和舵机作相应的动作。

本发明控制方式用 PID 和自抗扰控制器相结合、串级控制和并

级控制相结合的复合控制方式。倾转翼植保无人机在 X 轴方向可通过调整倾转旋翼直接获得相应的力，而不需要像寻常多旋翼无人机只能通过调整相应的姿态角来实现。该控制方式具体为将倾转翼植保无人机姿态控制与位置控制分为独立的两个控制体系，每个控制结构为串级反馈控制，然后将两个控制结果相加组合成并级控制。姿态控制由角度控制器、角速度控制器、角加速度控制器串级构成，角度数据与角速度数据由组合导航算法估计得到，角加速度由自抗扰控制算法中的微分跟踪器估计得到。位置控制与姿态控制类似，由位置控制器、速度控制器、加速度控制器串级组成，位置信息和速度信息由组合导航算法估计得到，加速度信息由微分跟踪器估计得到。

本发明主要应用于植保作业过程中的药液喷洒和颗粒播撒，针对各类平原、山地、丘陵等多样性和复杂性地形，能够满足多方向自主作业。与目前市面上多旋翼植保无人机不同，本发明采用有别于传统无人机的直线型飞行结构，两个主升电机 2 与两个倾转电机 21 等间距分布，保证了下洗风场的均匀分布，减少旋翼间扰流，使雾滴产生穿透力的同时更加均匀附着于作物冠层。对于不同作业场所可采用不同作业方式，针对小型地块或地势崎岖地形，采用单机作业，由操作员手动控制，携带与地块匹配的药箱和电池直接完成植保任务，体现植保作业的灵活性和可操作性。对于大型地块，主杆长度可根据作业需求调节，按场地规格灵活增大喷洒幅宽，提升作业效率。

本发明相比传统的植保无人机，创新点在于：

- (1) “一”字形动力分布，主升动力结构、倾转动力结构、主体机架结构；主体机架结构位于中间段；主升动力结构分布在主体机架结构的左右两端，倾转动力结构对称分布在主体机架机构和主升动力结构之间；减小旋翼间的扰流作用，拓宽了喷幅，使旋翼下压风场均匀充分作业，减少由于重复作业造成的农药浪费，作业效果好。
- (2) 矢量式动力结构，航姿变化灵活，能够保证无人机作业更为平滑、精准，提高作业效率，同时适应国内地形多变的复杂作业环境。
- (3) 主发从控的交互控制，既可以保证长距离通讯不易受干扰，又可以通过实时监测与检验算法降低系统风险。

附图说明

图 1 为本发明整体结构示意图；

图 2 为本发明主升旋翼与喷杆连接部件示意图；

图 3 为本发明倾转动力结构示意图；(a) 一面倾转动力结构示意图；

(b) 为另一面倾转动力结构示意图；

图 4 为本发明主体机架结构上部具体结构示意图；

图 5 为本发明主体机架结构示意图；

图 6 为本发明主发从控的交互控制示意图；

图 7 为本发明动力学模型尺寸标注图；

图 8 为本发明的控制系统框图；

图 9 为本发明的控制流程图；

图 2 中，1-主升桨叶、2-主升电机、3-主升电机固定板、4-主升电调、5-40mm 管夹、6-离心喷头、7-分控固定板、8-主升分控板、9-主杆。

图 3 中，10-倾转碳板、11-倾转分控板、12-舵机固定铝件、13-舵机、14-倾转电调、15-夹持铝件、16-25mm 管夹、17-倾转电机固定板、18-轴承固定铝件、19-倾转碳管、20-轴承、21-倾转电机、22-倾转桨叶。

图 4 中，23-水平仪、24-惯性导航模块、25-减震垫、26-控制板、27-GPS 天线、28-烧录器、29-接收器。

图 5 中，30-三通、31-小电池、32-小电池固定板、33-水泵固定板、34-水泵、35-机载电池、36-电池固定板、37-横杆、38-插销板、39-水箱固定板、40-脚架碳管、41-水箱、42-水位计、43-起落碳管、44-固定碳板。

具体实施方式

本发明的一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机结构，包括主升动力结构、倾转动力结构、主体机架结构；主升动力结构包括主升桨叶 1、主升电机 2、主升电机固定板 3、主升电调 4、40mm 管夹 5（第一管夹）、离心喷头 6、分控固定板 7、主升分控电路板 8、碳纤维主杆 9；主升桨叶 1 优选 32 寸桨叶，通过螺丝和主升电机 2 固定。主升电机 2 通过螺丝固定于主升电机固定板 3 上，再通过 40mm 管夹 5 夹持，与离心喷头 6 一起固定在主杆 9 上。主升

电机固定板 3 兼容市场上的大部分的电机安装孔，具有一定普适性。所述离心喷头 6 能够适用于多品种农药，雾化可调节，快速更换，有效提高本发明的植保效率。主升电调 4 和主升分控板 8 分别固定在两块分控固定板 7 上，通过 40mm 管夹 5 固定在主杆 9，保证主升桨叶 1 的旋转不会受到干扰。单个主升分控板 8 可以控制 1 个主升电机 2、1 个离心喷头 6。主升分控板 8 接收来自控制板 26 的命令，向主升电调 4 给出信号，从驱动主升电机 2 转动。离心喷头 6 内部集成电机电调，可直接通过接收主升分控板 8 的 PWM 信号驱动调速。

倾转动力结构包括倾转碳板 10、倾转分控电路板 11、舵机固定铝件 12、舵机 13、倾转电调 14、夹持铝件 15、25mm 管夹 16、倾转电机固定板 17、轴承固定铝件 18、倾转碳管 19、轴承 20、倾转电机 21、倾转桨叶 22；倾转碳板 10 上通过螺丝固定倾转分控板 11 和倾转电调 14；两块倾转碳板 10 通过 40mm 管夹 5 固定在主杆 9 上；倾转碳管 19 通过两个轴承 20、两个 25mm 管夹（第二管夹）固定在两块倾转碳板中间；所述轴承采用内径 25 毫米，外径 37 毫米的标准轴承，便于舵机 13 转动；两个夹持铝件 15 一方面共同箍住倾转碳管 19，另一方面倾转碳管 19 上有一个穿孔，使夹持铝件 15 固定位置相对一致；舵机 13 输出轴嵌套在夹持铝件 15 的凹槽内，带动整个倾转碳管 19 转动；所述夹持铝件 15 采用长舵臂的结构，可有效减少舵机 13 高频转动的齿轮磨损，同时倾转碳板 10 上留有足够裕量的空间，方便舵机 13 连接的夹持铝件 15 的 360 度转动；倾转

电机 21 上通过螺帽固定倾转桨叶 22,; 倾转电机固定板 17 上倾转电机 21 的安装孔, 可连接两个 25mm 管夹 16 固定在倾转碳管 19 上。

主体机架结构包括水平仪 23、惯性导航模块 24、减震垫 25、控制板 26、GPS 天线 27、烧录器 28、遥控器接收机 29、三通 30、小电池 31、小电池固定板 32、水泵固定板 33、水泵 34、机载电池 35、电池固定板 36、横杆 37、插销板 38、水箱固定板 39、脚架碳管 40、水箱 41、水位计 42、起落碳管 43、固定碳板 44。水平仪 23、减震垫 25、控制板 26、GPS 天线 27、烧录器 28、接收器 29 一起通过螺丝和固定碳板 44 硬连接。惯性导航模块 24 通过三层减震材料与减震垫 25 粘连在一起; 水平仪 23 用来对无人机初始角度进行零偏校准; GPS 天线 27 用于惯性导航模块 24 接收 GNSS 数据; 烧录器 28 用来无人机的软件测试; 接收器 29 负责接收遥控器指令, 将数据传输给控制板 26。两个脚架碳管 40 通过三通 30 连接固定在主杆 9; 两个固定碳板 44 通过四个 40mm 管夹 5、螺丝螺母固定在主杆 9 上; 水泵固定板 33 通过两个 40mm 管夹 5 固定在脚架碳管 40, 其上有水泵 34 的定位安装孔, 方便水泵 34 的固定; 小电池 31 通过电池扎带绑定在小电池固定板 32 上, 可快速更换; 小电池固定板 32 通过两个 40mm 管夹 5 固定在主杆 9 上; 插销板 38 和水箱固定板 39 有相同的管夹定位孔, 通过四个 40mm 管夹 5 固定在横杆 37 上, 横杆 37 通过三通 30 与脚架碳管 40 连接; 插销板 38 上有滑槽结构, 和提拉插销的定位孔, 便于电池的快速更换; 机载电池 35 是无人机主要的供电模块, 通过电池扎带固定在电池固定板 36 上, 电池固定板

36 通过滑槽与插销板 38 连接；水箱固定板 39 上有水箱 41 的定位安装孔，便于水箱固定；水位计 42 位于水箱 41 底部，依据超声波原理测量水箱的水位高度；两个脚架碳管 40 通过两个三通 30 分别与起落碳管 43 固定连接，用于无人机的落地缓冲。

下面结合附图和实例对本发明作更进一步的说明。

图 1 所示的是本发明整体结构示意图。本发明采用 3 米长度的直径 40 毫米的碳纤维管作为主体，对称搭载 2 个垂直于机身朝下的倾转结构，该设计提高了倾转桨叶 22 的风场利用效率。

图 2 所示的是本发明的主升动力结构示意图。主升桨叶 1 优选 32 寸桨叶，是主要的升力来源。主升电机 2 通过螺丝固定于主升电机固定板 3 上，再通过 40mm 管夹 5 夹持，与离心喷头 6 一起固定在主杆 9 上。主升电机固定板 3 兼容市场上的大部分的电机安装孔，具有一定普适性。所述离心喷头 6 能够适用于多品种农药，雾化可调节，快速更换，有效提高本发明的植保效率。主升电调 4 和主升分控板 8 分别固定在两块分控固定板 7 上，通过 40mm 管夹 5 固定在主杆 9，保证主升桨叶 1 的旋转不会受到干扰。单个主升分控板 8 可以控制 1 个主升电机 2、1 个离心喷头 6。主升分控板 8 接收来自控制板 26 的命令，向主升电调 4 给出信号，从驱动主升电机 2 转动。离心喷头 6 内部集成电机电调，可直接通过接收主升分控板 8 的 PWM 信号驱动调速。

图 3 为本发明倾转动力结构示意图。本发明倾转碳板 10 上通过螺丝固定倾转分控板 11 和倾转电调 14；两块倾转碳板 10 通过 40mm

管夹 5 固定在主杆 9 上；倾转碳管 19 通过两个轴承 20、两个 25mm 管夹固定在两块倾转碳板中间；所述轴承采用内径 25 毫米，外径 37 毫米的标准轴承，便于舵机 13 转动；两个夹持铝件 15 一方面共同箍住倾转碳管 19，另一方面倾转碳管 19 上有一个穿孔，使夹持铝件 15 固定位置相对一致；舵机 13 输出轴嵌套在夹持铝件 15 的凹槽内，带动整个倾转碳管 19 转动；所述夹持铝件 15 采用长舵臂的结构，可有效减少舵机 13 高频转动的齿轮磨损，同时倾转碳板 10 上留有足够裕量的空间，方便舵机 13 连接的夹持铝件 15 的 360 度转动；倾转电机 21 上通过螺帽固定倾转桨叶 22，；倾转电机固定板 17 上倾转电机 21 的安装孔，可连接两个 25mm 管夹 16 固定在倾转碳管 19 上。

图 4 为本发明主体机架上部具体结构示意图，展示的是本发明主要的控制与测试模块。水平仪 23、减震垫 25、控制板 26、GPS 天线 27、烧录器 28、接收器 29 一起和固定碳板 44 硬连接。惯性导航模块 24 通过三层减震材料与减震垫 25 粘连在一起；水平仪 23 用来对无人机初始角度进行零偏校准；GPS 天线 27 用于惯性导航模块 24 接收 GNSS 数据；烧录器 28 用来无人机的软件测试；接收器 29 负责接收遥控器指令，将数据传输给控制板 26。

图 5 为本发明主体机架结构示意图。两个脚架碳管 40 通过三通 30 连接固定在主杆 9；两个固定碳板 44 通过四个 40mm 管夹 5、螺丝螺母固定在主杆 9 上；水泵固定板 33 通过两个 40mm 管夹 5 固定在脚架碳管 40，其上有水泵 34 的定位安装孔，方便水泵 34 的固定；

小电池 31 通过电池扎带绑定在小电池固定板 32 上,可快速更换;小电池固定板 32 通过两个 40mm 管夹 5 固定在主杆 9 上;插销板 38 和水箱固定板 39 有相同的管夹定位孔,通过四个 40mm 管夹 5 固定在横杆 37 上,横杆 37 通过三通 30 与脚架碳管 40 连接;插销板 38 上有滑槽结构,和提拉插销的定位孔,便于电池的快速更换;机载电池 35 是无人机主要的供电模块,通过电池扎带固定在电池固定板 36 上,电池固定板 36 通过滑槽与插销板 38 连接;水箱固定板 39 上有水箱 41 的定位安装孔,便于水箱固定;水位计 42 位于水箱 41 底部,依据超声波原理测量水箱的水位高度;两个脚架碳管 40 通过两个三通 30 分别与起落碳管 43 固定连接,用于无人机的落地缓冲。

图 6 为本发明主发从控的交互控制示意图。为应对超长机身带来的控制信号容易丢失的问题,本发明采用基于 CAN 通讯的主控-分控的主从控制策略,设计了实时检测、实时校验的算法,保证无人机在飞行时控制信号稳定可靠。控制板 26 为感知、运算和控制的主控板,倾转分控电路板 11 则通过 CAN 总线接受主控板指令,直接控制电机和舵机作相应的动作。两者之间实时监测与检验,当主控板发现分控板丢失时,会通过上层嵌入式系统板利用人机交互向使用者提供警报信息。同时分控板 1、2 (主升分控板 8) 监测到主控板 (控制板 26) 丢失时,会立即进入保护机制,停止所有的电机和舵机控制,防止出现误动作伤害人员生命安全。

图 7 为本发明动力学模型尺寸标注图。本发明使用欧拉角 θ 、 φ 、 ψ 描述无人机姿态,即机载坐标系与地面惯性坐标系之间的

夹角。地面惯性坐标系采用东北天坐标系，其中，倾转翼植保无人机的质心为机载坐标系原点，X 轴垂直于机臂指向机头，Y 轴平行于机臂指向机头左侧，Z 轴垂直于机臂向上。图 7 中，倾转电机距离主杆的长度为 L_1 ，主杆距离重心的长度为 L_2 ，倾转力臂长度为 L_3 ，主升力臂长度为 L_4 ，电机厚度为 L_5 ，左右舵机偏离垂直位置的角度分别为 θ_L 、 θ_R （沿+Y 方向观察，顺时针旋转为正），无人机总质量为 m ，重力加速度为 g 。本发明基于机体坐标系的三轴扭矩 $T = [T_\theta \ T_\phi \ T_\psi]^T$ 和四个旋翼产生的升力 $F = [F_{L2} \ F_{L1} \ F_{R1} \ F_{R2}]^T$ 进行动力学分析，得到三轴转动动力学模型：

$$\begin{bmatrix} T_\theta \\ T_\phi \\ T_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \sin \theta_L (-L_1 + L_2 - L_5 \cos \theta_L) & \sin \theta_R (-L_1 + L_2 - L_5 \cos \theta_R) & 0 \\ L_4 & L_3 \cos \theta_L + k_{torque} \sin \theta_L & -L_3 \cos \theta_R - k_{torque} \sin \theta_R & -L_4 \\ -k_{torque} & L_3 \sin \theta_L + k_{torque} \cos \theta_L & -L_3 \sin \theta_R - k_{torque} \cos \theta_R & k_{torque} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{L2} \\ F_{L1} \\ F_{R1} \\ F_{R2} \end{bmatrix}$$

其中， K_{torque} 表示空气反扭矩系数，反应了旋翼转动产生的升力和空气摩擦产生的反扭矩之间的关系。

同时建立无人机的三轴平动动力学模型：

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{v}_z \end{bmatrix} = -g \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{1}{m} R_b^e \begin{bmatrix} 0 & \sin \theta_L & \sin \theta_R & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \cos \theta_L & \cos \theta_R & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{L2} \\ F_{L1} \\ F_{R1} \\ F_{R2} \end{bmatrix}$$

其中， R_b^e 是机载坐标系转地面惯性坐标系的旋转矩阵。

图 9 为本发明的控制流程图。整个系统的执行步骤为：

步骤一，主控芯片初始化，外接传感器初始化。

步骤二，无人机传感器自检，若自检不正常则通过外拓灯带显示报警并重复步骤二，若正常则进行步骤三。

步骤三，等待使用人机交互解锁，无人机从自锁状态切换到等待起飞状态。

步骤四，接收人机交互数据，无人机进行任务切换，任务具体为姿态模式、定高模式、定点模式以及一键降落模式。当 GPS 信号弱或丢失时，会强制从定点模式切换成定高模式。姿态模式下，无人机将读取和控制姿态角度、角速度相关信息；定高模式下，无人机将读取和控制姿态角度、角速度、速度和飞行高度信息；定点模式下，无人机将读取和控制姿态角度、角速度、速度、位置信息并支持航迹规划和跟踪功能；一键降落模式下，无人机会结束当前任务，原地慢慢下降。

图 8 为本发明的控制系统框图，根据图 7 所建立的倾转翼植保无人机动力学模型，采用 PID 和自抗扰控制器相结合、串级控制和并级控制相结合的复合控制方式。倾转翼植保无人机在 X 轴方向可通过调整倾转旋翼直接获得相应的力，而不需要像寻常多旋翼无人机只能通过调整相应的姿态角来实现。该控制方式具体为将倾转翼植保无人机姿态控制与位置控制分为独立的两个控制体系，每个控制结构为串级反馈控制，然后将两个控制结果相加组合成并级控制。姿态控制由角度控制器、角速度控制器、角加速度控制器串级构成，角度数据与角速度数据由组合导航算法估计得到，角加速度由自抗扰控制算法中的微分跟踪器估计得到。位置控制与姿态控制

类似，由位置控制器、速度控制器、加速度控制器串级组成，位置信息和速度信息由组合导航算法估计得到，加速度信息由微分跟踪器估计得到。为应对超长机身带来的控制信号容易丢失的问题，本发明采用上述提到的基于 CAN 通讯的主控-分控的主从控制策略。

步骤五，无人机安全着陆后，系统控制关闭，返回步骤三。

权利要求书

1、一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机结构，其特征在于，包括主升动力结构、倾转动力结构、主体机架结构；主体机架结构位于中间段；主升动力结构分布在主体机架结构的左右两端，倾转动力结构对称分布在主体机架机构和主升动力结构之间；

主升动力结构包括主升桨叶 1、主升电机 2、主升电机固定板 3、主升电调 4、第一管夹、离心喷头 6、分控固定板 7、主升分控电路板 8、主杆 9；主升桨叶 1 通过螺丝和主升电机 2 固定，主升电机 2 通过螺丝固定于主升电机固定板 3 上，再通过第一管夹夹持，与下端的离心喷头 6 一起固定在主杆 9 上；主升电调 4 和主升分控板 8 分别固定在两块分控固定板 7 上，通过第一管夹固定在主杆 9，主升分控板 8 接收来自控制板 26 的命令，向主升电调 4 给出信号，从驱动主升电机 2 转动，离心喷头 6 内部集成电机电调，可直接通过接收主升分控电路板 8 的 PWM 信号驱动调速；

倾转动力结构包括倾转碳板 10、倾转分控电路板 11、舵机固定铝件 12、舵机 13、倾转电调 14、夹持铝件 15、第二管夹、倾转电机固定板 17、轴承固定铝件 18、倾转碳管 19、轴承 20、倾转电机 21、倾转桨叶 22；倾转碳板 10 上部通过螺丝固定倾转分控板 11 和倾转电调 14；两块倾转碳板 10 上部通过第一管夹固定在主杆 9 上；倾转碳板 10 下端的中间部位设有倾转碳管 19，倾转碳管 19 两端通过两个轴承 20、两个第二管夹固定，轴承固定铝件 18 用于固定轴承 20，两个夹持铝件 15 一方面共同箍住倾转碳管 19，另一方面倾

转碳管 19 上有一个穿孔，使夹持铝件 15 固定位置相对一致；靠近倾转碳管 19 一端的位置设有舵机固定铝件 12，舵机固定铝件 12 固定舵机 13，舵机 13 输出轴嵌套在夹持铝件 15 的凹槽内，带动整个倾转碳管 19 转动；倾转电机 21 上通过螺帽固定倾转桨叶 22；倾转电机固定板 17 上倾转电机 21 的安装孔，可连接两个第二管夹固定在倾转碳管 19 上；

主体机架结构包括水平仪 23、惯性导航模块 24、减震垫 25、控制板 26、GPS 天线 27、烧录器 28、遥控器接收机 29、三通 30、小电池 31、小电池固定板 32、水泵固定板 33、水泵 34、机载电池 35、电池固定板 36、横杆 37、插销板 38、水箱固定板 39、脚架碳管 40、水箱 41、水位计 42、起落碳管 43、固定碳板 44；惯性导航模块 24、烧录器 28、遥控器接收机 29、水位计 42 通过控制板 26 上的接口和控制板 26 连接，向控制板 26 传递数据，小电池 31 通过控制板 26 上的电池接口，给控制板 26 和上述传感器供电；水平仪 23、减震垫 25、控制板 26、GPS 天线 27、烧录器 28、接收器 29 一起通过螺丝和固定碳板 44 硬连接；两个脚架碳管 40 通过三通 30 连接固定在主杆 9；两个固定碳板 44 通过四个第一管夹、螺丝螺母固定在主杆 9 上；水泵固定板 33 通过两个第一管夹固定在脚架碳管 40 上，其上有水泵 34 的定位安装孔，方便水泵 34 的固定；小电池 31 通过电池扎带绑定在小电池固定板 32 上，可快速更换；小电池固定板 32 通过两个第一管夹固定在主杆 9 上；插销板 38 和水箱固定板 39 有相同的管夹定位孔，通过四个第一管夹固定在横杆 37 上，

横杆 37 通过三通 30 与脚架碳管 40 连接；机载电池 35 是无人机主要的供电模块，通过电池扎带固定在电池固定板 36 上，电池固定板 36 通过滑槽与插销板 38 连接；水箱固定板 39 上有水箱 41 的定位安装孔，便于水箱固定；水位计 42 位于水箱 41 底部，依据超声波原理测量水箱的水位高度；两个脚架碳管 40 通过两个三通 30 分别与起落碳管 43 固定连接，用于无人机的落地缓冲。

2、根据权利要求 1 所述的一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机结构，其特征在于，所述夹持铝件 15 采用长舵臂的结构，可有效减少舵机 13 高频转动的齿轮磨损，同时倾转碳板 10 上留有足够裕量的空间，方便舵机 13 连接的夹持铝件 15 的 360 度转动。

3、根据权利要求 1 所述的一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机结构，其特征在于，惯性导航模块 24 通过三层减震材料与减震垫 25 粘连在一起；水平仪 23 用来对无人机初始角度进行零偏校准；GPS 天线 27 用于惯性导航模块 24 接收 GNSS 数据；烧录器 28 用来无人机的软件测试；接收器 29 负责接收遥控器指令，将数据传输给控制板 26。

4、根据权利要求 1 所述的一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机结构，其特征在于，插销板 38 上有滑槽结构，和提拉插销的定位孔，便于电池的快速更换。

5、根据权利要求 1 所述的一种基于倾转旋翼的直线型多旋翼植保无人机结构控制方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤 1，分别建立无人机的三轴转动和平动动力学模型；

步骤 2，主控芯片初始化，外接传感器初始化；

步骤 3，无人机传感器自检，若自检不正常则通过外拓灯带显示报警并重复步骤 3，若正常则进行步骤 4；

步骤 4，等待使用人机交互解锁，无人机从自锁状态切换到等待起飞状态；

步骤 5，接收人机交互数据，无人机进行任务切换，任务具体为姿态模式、定高模式、定点模式以及一键降落模式，当 GPS 信号弱或丢失时，会强制从定点模式切换成定高模式；姿态模式下，无人机将读取和控制姿态角度、角速度相关信息；定高模式下，无人机将读取和控制姿态角度、角速度、速度和飞行高度信息；定点模式下，无人机将读取和控制姿态角度、角速度、速度、位置信息并支持航迹规划和跟踪功能；一键降落模式下，无人机会结束当前任务，原地慢慢下降；根据步骤 1 所建立的倾转翼植保无人机动力学模型，采用 PID 和自抗扰控制器相结合、串级控制和并级控制相结合的复合控制方式；为应对超长机身带来的控制信号容易丢失的问题，采用基于 CAN 通讯的主控-分控的主从控制策略；

步骤 6，无人机安全着陆后，系统控制关闭，返回步骤 4。

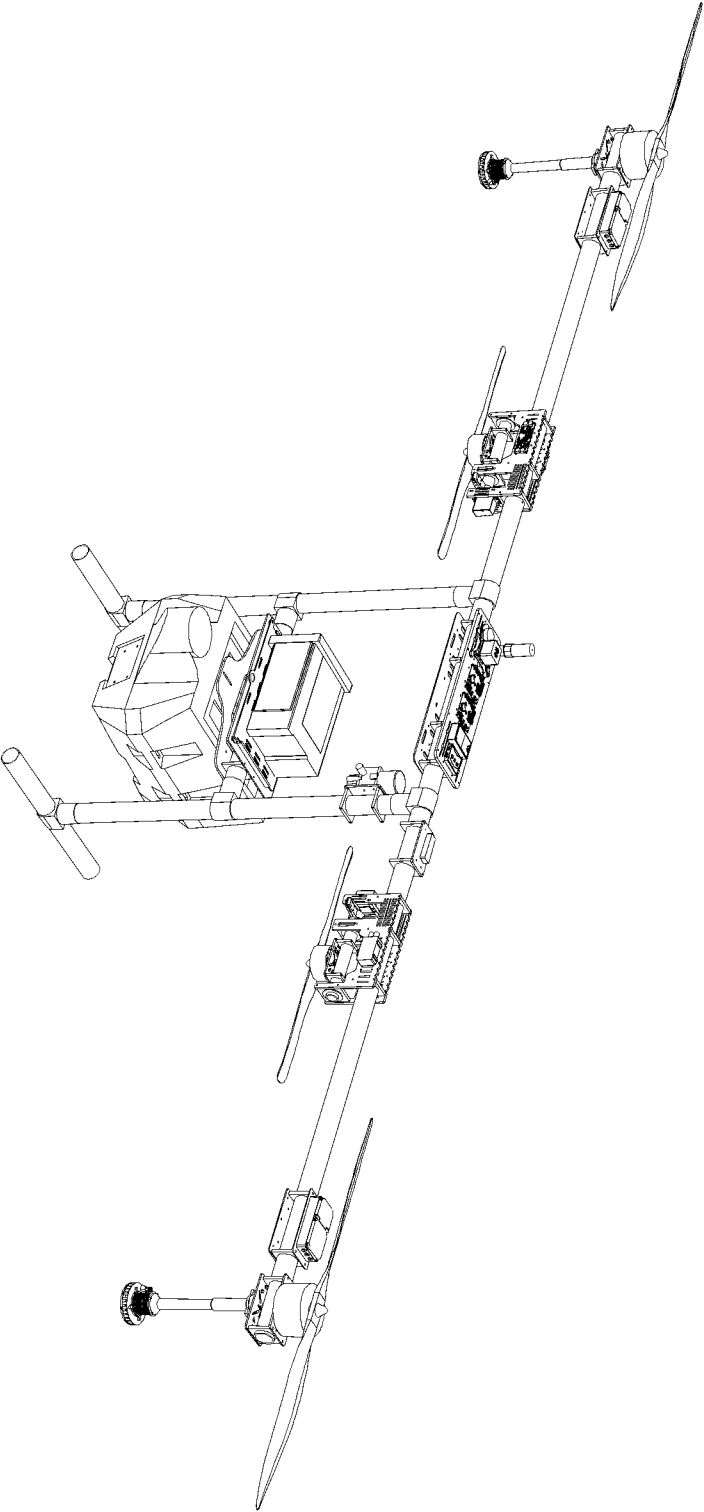


图 1

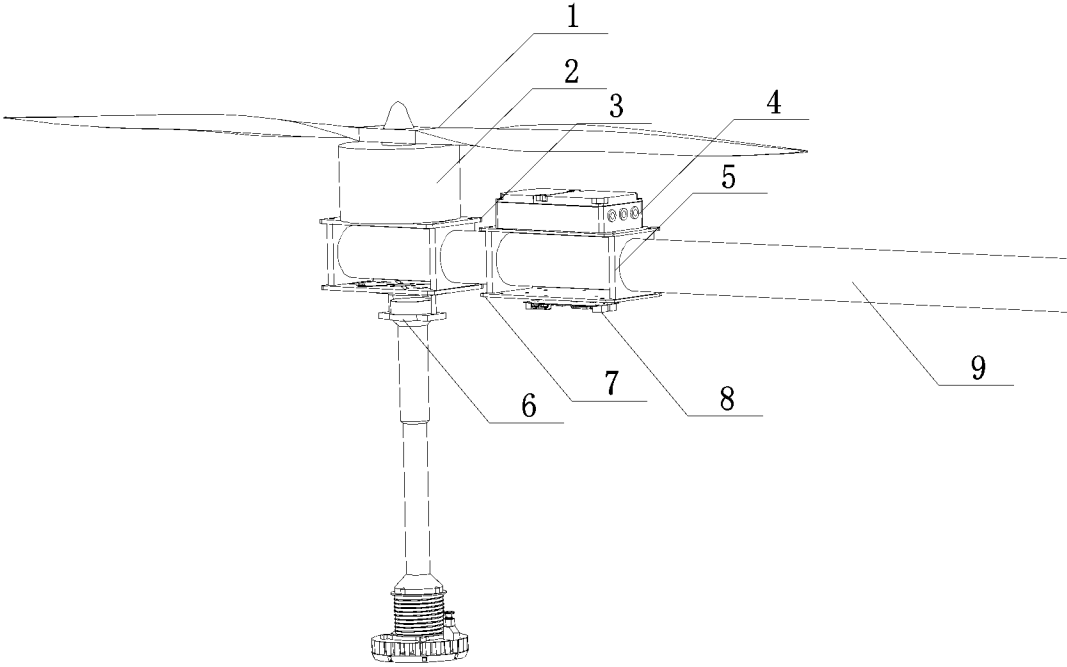
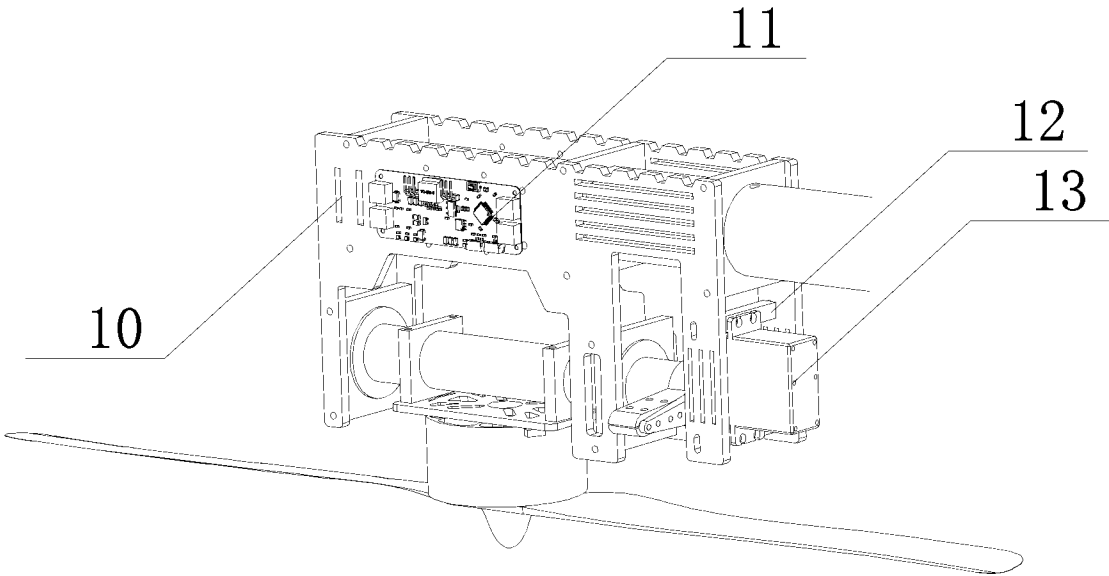
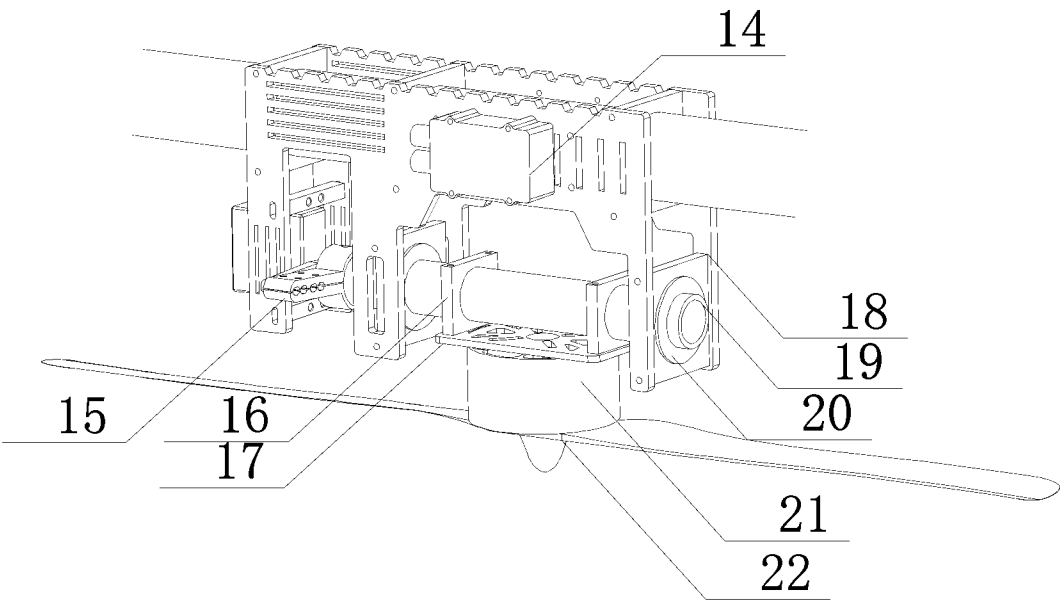


图 2



(a)



(b)

图 3

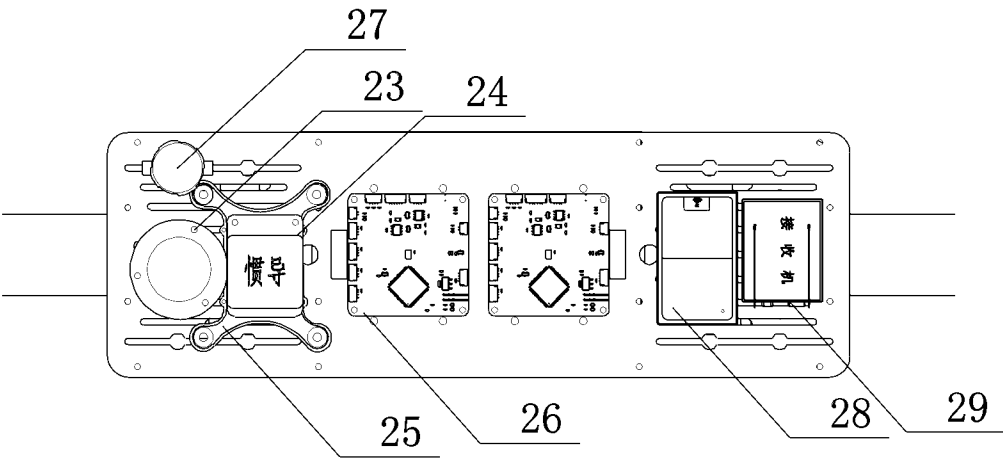


图 4

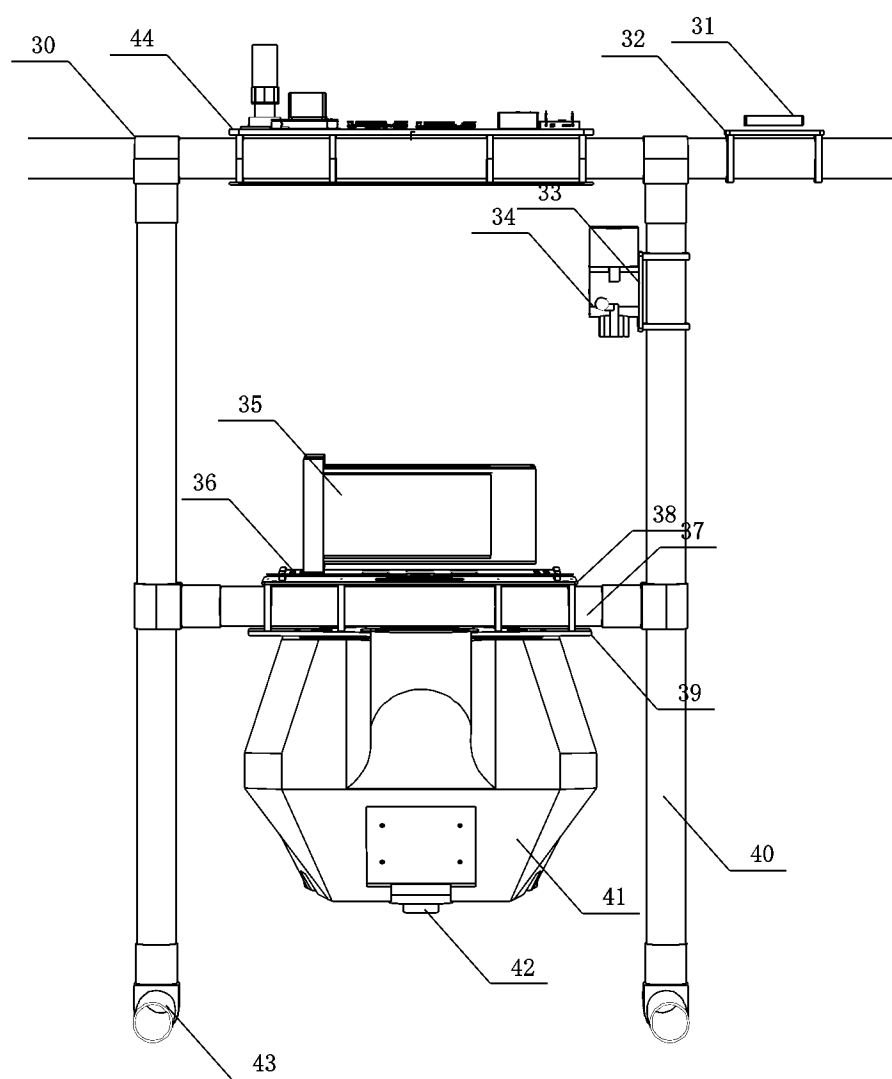


图 5

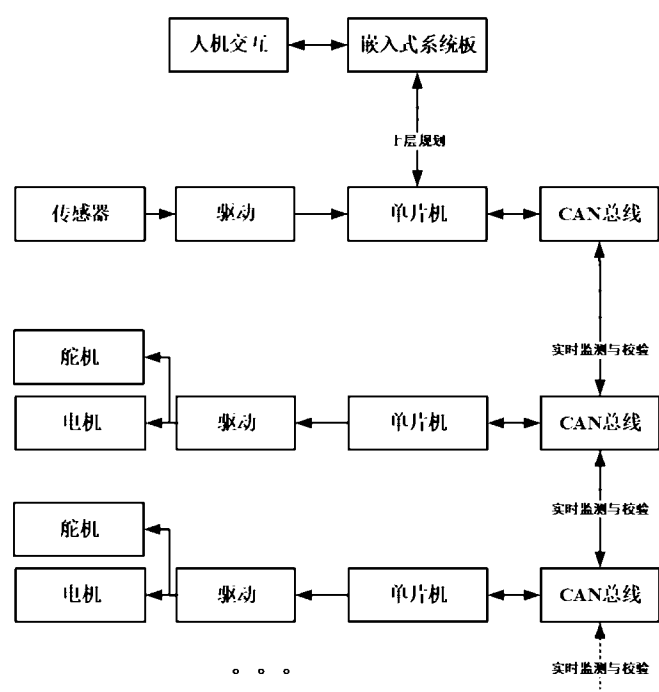


图 6

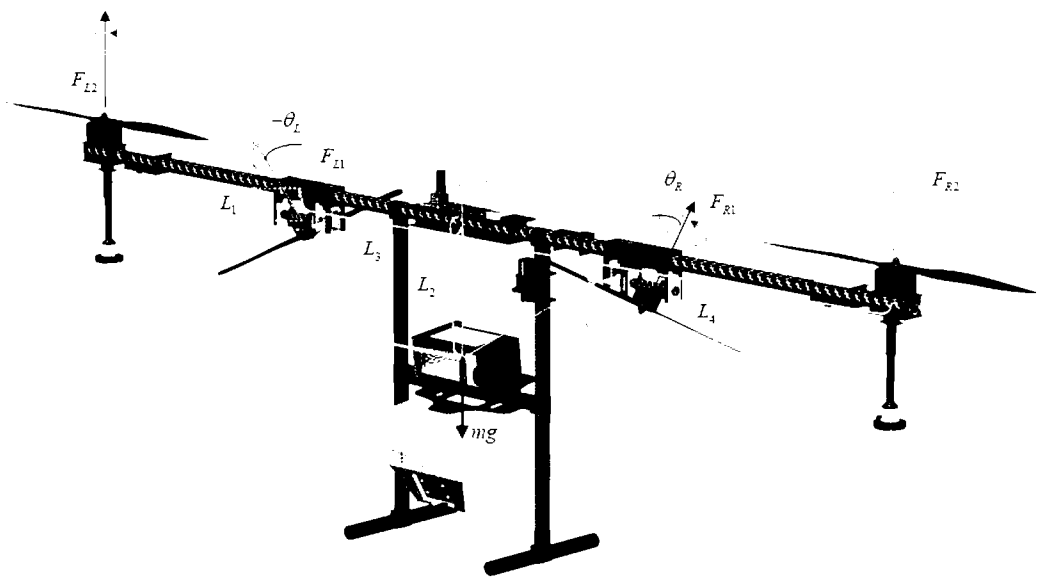


图 7

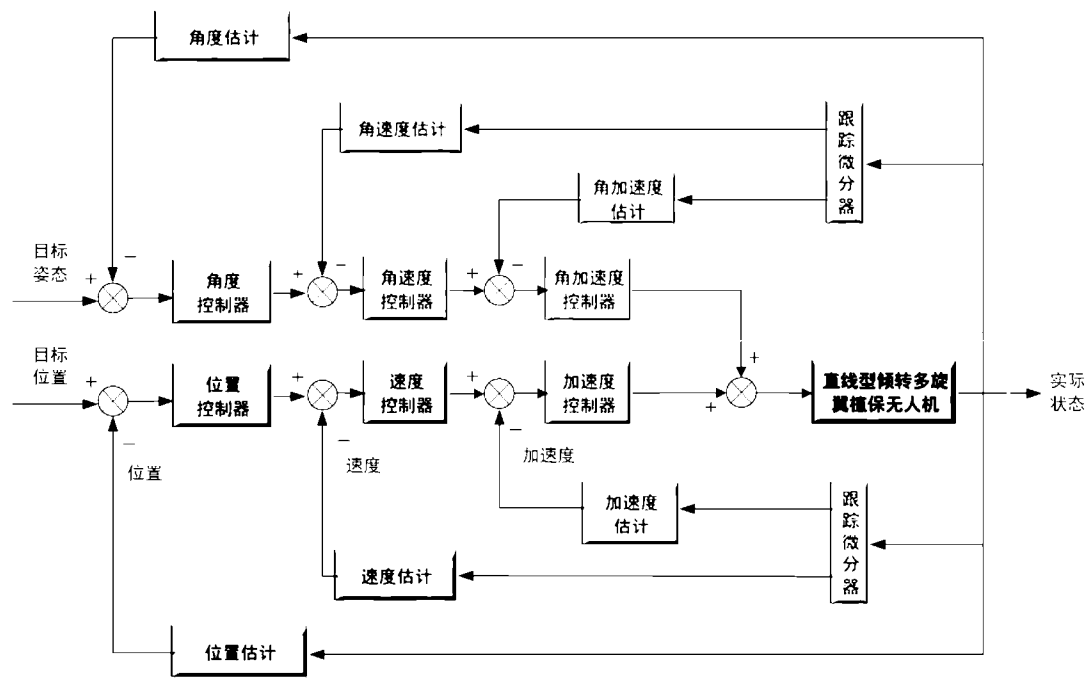


图 8

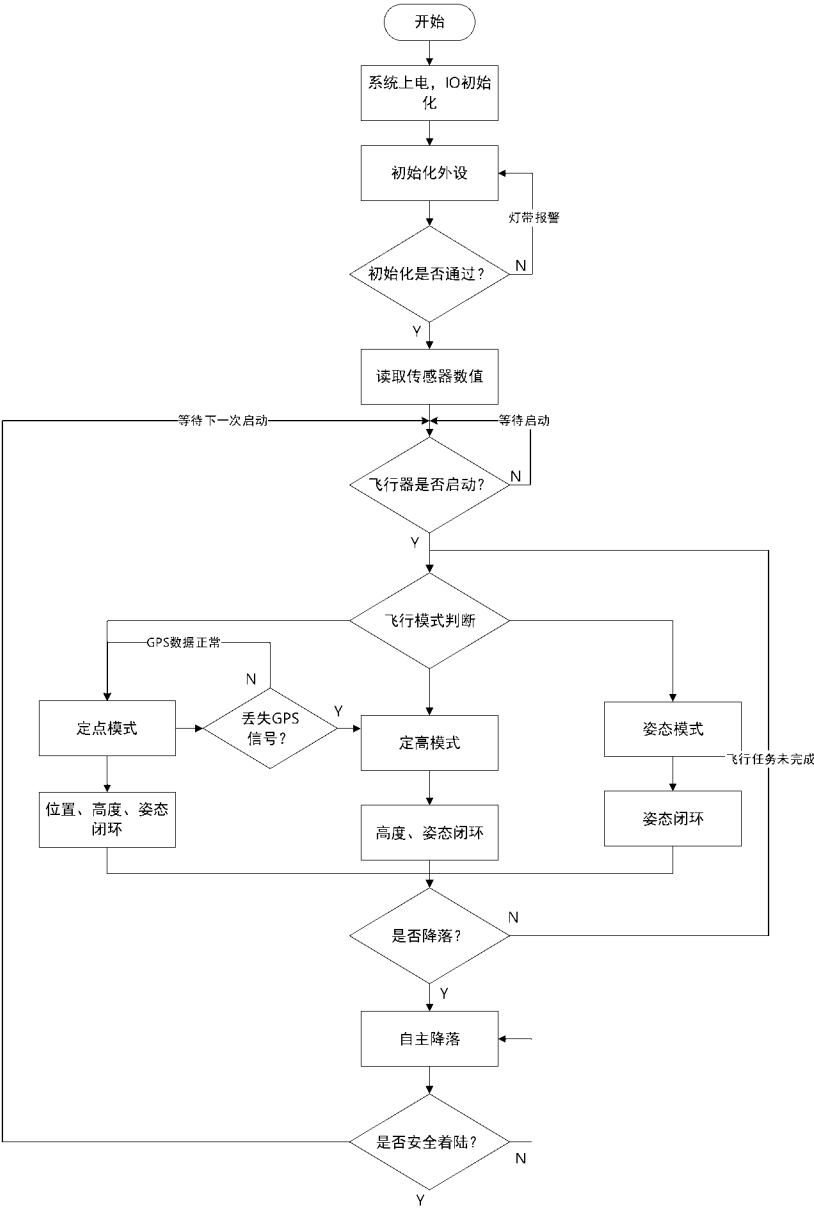


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/090241

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B64C27/08(2023.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: B64C, B64D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN, CNKI, CNABS: 旋翼, 无人机, 倾转, 机架, 舵机, rotor, uav, tilter, frame, actuator

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 115258164 A (JIANGSU UNIVERSITY) 01 November 2022 (2022-11-01) claims 1-5	1-5
A	CN 112352759 A (JIANGSU UNIVERSITY) 12 February 2021 (2021-02-12) description, pages 3-7, and figures 1-8	1-5
A	CN 113955114 A (JIANGSU UNIVERSITY) 21 January 2022 (2022-01-21) entire document	1-5
A	CN 214356673 U (XAG CO., LTD.) 08 October 2021 (2021-10-08) entire document	1-5
A	US 2016325829 A1 (GWANGJU INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 10 November 2016 (2016-11-10) entire document	1-5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 May 2023

Date of mailing of the international search report

12 June 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/090241

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	115258164	A	01 November 2022	None			
CN	112352759	A	12 February 2021	None			
CN	113955114	A	21 January 2022	None			
CN	214356673	U	08 October 2021	None			
US	2016325829	A1	10 November 2016	KR	20160131631	A	16 November 2016
				KR	101767943	B1	17 August 2017

A. 主题的分类

B64C27/08(2023.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: B64C, B64D

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

VEN, CNKI, CNABS: 旋翼, 无人机, 倾转, 机架, 舵机, rotor, uav, tilter, frame, actuator

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 115258164 A (江苏大学) 2022年11月1日 (2022 - 11 - 01) 权利要求1-5	1-5
A	CN 112352759 A (江苏大学) 2021年2月12日 (2021 - 02 - 12) 说明书第3-7页, 附图1-8	1-5
A	CN 113955114 A (江苏大学) 2022年1月21日 (2022 - 01 - 21) 全文	1-5
A	CN 214356673 U (广州极飞科技股份有限公司) 2021年10月8日 (2021 - 10 - 08) 全文	1-5
A	US 2016325829 A1 (GWANGJU INST SCIENCE & TECH) 2016年11月10日 (2016 - 11 - 10) 全文	1-5

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2023年5月25日

国际检索报告邮寄日期

2023年6月12日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

张凯

电话号码 (+86) 010-62085196

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/090241

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	115258164	A	2022年11月1日	无			
CN	112352759	A	2021年2月12日	无			
CN	113955114	A	2022年1月21日	无			
CN	214356673	U	2021年10月8日	无			
US	2016325829	A1	2016年11月10日	KR	20160131631	A	2016年11月16日
				KR	101767943	B1	2017年8月17日