(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
2021 年 10 月 7 日 (07.10.2021)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2021/196529 A1

(51) 国际专利分类号:
B25J 5/00 (2006.01) *B25J 19/06* (2006.01)
B25J 19/02 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/115072

(22) 国际申请日: 2020 年 9 月 14 日 (14.09.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010255196.4 2020年4月2日 (02.04.2020) CN

(71) 申请人: 同济人工智能研究院（苏州）有限公司 (TONGJI ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH INSTITUTE (SUZHOU) CO. LTD.) [CN/CN]; 中国江苏省苏州相城区天成时代广场29、30层, Jiangsu 215000 (CN)。

(72) 发明人: 林立民 (LIN, Limin); 中国江苏省苏州市相城区天成时代广场29、30层, Jiangsu 215000 (CN)。 邓若愚 (DENG, Ruoyu); 中国江苏省苏州市相城区天成时代广场29、30层, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: 苏州创元专利商标事务所有限公司 (SUZHOU CREATOR PATENT AND TRADEMARK AGENCY, LTD); 中国江苏省苏州市干将西路93号, Jiangsu 215002 (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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) **Title:** AIR-GROUND COOPERATIVE INTELLIGENT INSPECTION ROBOT AND INSPECTION METHOD

(54) **发明名称:** 空地协同式智能巡检机器人及巡检方法

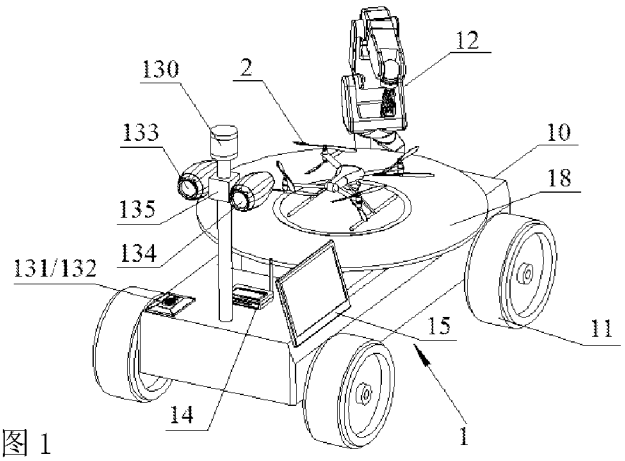

图 1

(57) **Abstract:** Provided is an air-ground cooperative intelligent inspection robot. The robot comprises a robot platform (1) and an unmanned aerial vehicle (2), wherein the robot platform (1) comprises a vehicle body (10), vehicle wheels (11), a driving assembly, a mechanical arm (12), an environmental perception assembly, a communicator (14), a robot controller (16) and a power supply assembly (17); and the unmanned aerial vehicle (2) is in communication connection with a base station by means of the communicator (14). The inspection method comprises: carrying out air-ground cooperative multi-robot positioning and mapping, which comprises: perceptual positioning calculation, map creation, and multi-information fusion positioning; and air-ground cooperative tracking and control, which comprises: unmanned aerial vehicle flight control design, robot platform trajectory tracking control, and unmanned aerial vehicle autonomous landing control. The robot can execute given navigation and inspection tasks in an all-round and all-weather mode. By means of the application of the techniques of the Internet of Things, artificial intelligence, etc., and integration with environmental

WO 2021/196529 A1

[见续页]

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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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)。

根据细则4.17的声明：

— 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

perception, dynamic decision making, behavior control and an alarm device, the robot has the capabilities of autonomous perception, walking, protection, interactive communication, etc., and can complete basic, repeated and dangerous safety work, thereby reducing the cost of safety operations.

(57) 摘要：一种空地协同式智能巡检机器人，包括机器人平台(1)、无人机(2)，机器人平台(1)包括车体(10)、车轮(11)及驱动组件、机械手臂(12)、环境感知组件、通讯器(14)、机器人控制器(16)以及电源组件(17)，通讯器(14)对无人机(2)与基站实现通信连接。巡检方法包括：空地协同多机器人定位及建图：包括感知定位计算、地图创建、多信息融合定位，空地协同跟踪及控制：包括无人机飞行控制设计、机器人平台轨迹跟踪控制、无人机自助降落控制。本机器人可以全方位、全天候执行给定的导航和巡检任务，运用物联网、人工智能等技术，集成环境感知、动态决策、行为控制和报警装置，具备自主感知、行走、保护、互动交流等能力，可完成基础、重复、危险性的安保工作，降低安保运营成本。

空地协同式智能巡检机器人及巡检方法

技术领域

本发明属于机器人技术领域，具体涉及一种空地协同式智能巡检机器人及巡检方法。

背景技术

近年来，化工行业重大爆炸事故主要由危化品泄露所导致，而导致泄露事故的最主要原因就是巡检力度不够。为了降低化工行业安全事故的发生率，巡检工作已经成为化工行业必不可少的工作之一。目前，检修和巡检作业主要依靠人工完成，由于人员素质层次不齐，通常存在安全意识淡薄、安全责任不落实、安全监管工作不到位等问题，难以保证巡检工作的可靠性和准确性。另外，化工行业通常占地面积大，且包含大量压力容器和近百公里的压力输送管道，巡检作业的工作环境十分复杂，仅仅依靠人工难以完成所有巡检任务。

随着智能运维的推进，机器人巡检需求日益增长，化工行业已经逐步使用机器人代替人工执行巡检任务，这样不仅可以大幅降低人工成本，还可以确保巡检的效率和可靠性。虽然将机器人应用于化工行业安全巡检有很多优点，但是现阶段的巡检机器人普遍都是单一机器人类型的巡检设备，而且智能程度不高，其中包括无人车和无人机。

现阶段巡检机器人包括无人车和无人机，主要存在以下不足：

1、缺乏无人车与无人机的多机器人协同技术：

单一无人车巡检设备受到自身工作原理的限制，对路面的平整性要求过高，无法执行崎岖路面、楼梯爬高以及高空环境的巡检工作；单一无人机巡检设备受到巡航能力限制，飞行时长和负载能力都很有限，无法执行携带多种传感器，而且不能远距离飞行。

2、缺乏可搭载无人机的自主移动平台：

现阶段的巡检无人机在执行任务时，仍需要作业人员通过交通工具将其带到指定地点，这种巡检方式仍然存在效率低、浪费人力物力资源等不足。

3、缺乏自主能力：

现阶段的无人机在执行巡检任务时，仍需要作业人员现场遥控无人机对化工环境和设备进行近距离的图像采集工作，这种巡检方式缺乏自主性，巡检效率低下。

4、缺乏防爆性能：

现阶段的无人车和无人机通常不具备防爆性能，高速无刷电机及高能量电池将产生超高的电流，一旦接触到可燃气体就会发生爆炸，潜在的失火、爆炸等隐患就已经让人难以想象其后果。

5、缺乏高智能程度的环境感知与理解：

现阶段的无人机并没有完全实现环境图像获取和识别的智能化，在遇到突发情况启动一键返航的操作时，容易与返航路径上的障碍物发生碰撞或纠缠，这将对化工原料、化工产品以及巡检无人机的安全带来巨大隐患。

6、缺乏动态环境的同步建图与定位：

现阶段机器人的 SLAM 导航技术大多仅针对室内环境，只能在相对可控的环境下进行测试和运营。室外巡逻机器人通常在较为复杂的环境下运行，对于移动机器人的定位和导航技术要求极高，尤其是搭载无人机的陆空协作系统，受制于室外环境的变化和不确定性，室外机器人的 SLAM 技术始终没有较成熟的方案。

7、缺乏高速度高精度路径规划技术：

路径寻优的难点在于保证搜索速度的同时保证路径尽可能最优，现阶段的路径规划技术通常没有将机器人的运动学约束融入全局路径规划之中，无法在机器人实际操作的同时保证实时性；空地协同的路径规划是在各自路径可行的前提下保证相互间的配合和约束是难点之一；局部路径规划的技术难点是尽可能的跟踪全局路径的同时根据实时传感器数据完成机器人的避障。

8、缺乏事故预警能力：

现阶段还没有成熟的事故预警技术，因此目前还不能提前预测事故的发生，在系统故障诊断和事故预测的算法中，如何基于离散事件系统理论的融合异构数据来预测事故是难点之一。

发明内容

本发明的一个目的是提供一种空地协同式智能巡检机器人，应用于化工行业的安全巡检工作。

为达到上述目的，本发明采用的技术方案是：

一种空地协同式智能巡检机器人，包括机器人平台、无人机，所述的机器人平台包括车体、设置在所述的车体底部的车轮及驱动组件、设置在所述的车体上的机械手臂、环境感知组件、通讯器、机器人控制器以及电源组件，所述的通讯器对所述的无人机与基站实现通信连接。

优选地，所述的机械手臂包括设置在所述的车体上的底座、可转动地连接在所述的底座上的关节组件、可转动地连接在所述的关节组件上的机械爪以及驱动各部件转动的转动驱动件，所述的关节组件包括一个或多个首尾依次可转动连接的连接关节，所述的机械手臂可以为所述的无人机降落位置进行调整，以便于所述的无人机进行如无线充电；所述的机械手臂还可以为所述的无人机替换各种传感器；所述的机械手臂还可以在危险环境中执行抓取、旋转、按压等操作任务，例如，执行阀门的开关操作。

进一步优选地，所述的关节组件包括与所述的底座可转动地连接的第一连接关节、与所述的第一连接关节可转动地连接的第二连接关节、与所述的第二连接关节可转动地连接的第三连接关节、与所述的第三连接关节可转动地连接的第四连接关节、与所述的第四连接关节可转动地连接的第五连接关节，所述的机械爪与所述的第五连接关节可转动地连接，所述的转动驱动件采用如电机，由 6 个电机带动 6 个转动关节，实现所述的机械手臂中 6 个自由度的运动，带动所述的机械爪执行抓取操作。

进一步优选地，所述的机械爪包括可转动地连接在所述的关节组件上的爪体、连接在所述的爪体上的一对爪手以及驱动所述的爪手进行抓取动作的爪手驱动组件，所述的爪手驱动组件包括设置在所述的爪体上的蜗杆、连接在所述的爪手一端并与所述的蜗杆配合的涡轮、驱动所述的蜗杆转动的爪手驱动件，所述的爪手驱动件可以采用如电机带动所述的机械爪实现抓取功能。

优选地，所述的机器人平台还包括设置在所述的车体上供所述的无人机起降及充电的平台主体，所述的平台主体与所述的电源组件相连接，为所述的无人机提供无线充电功能。

优选地，所述的环境感知组件包括激光雷达、传感器组件以及摄像及照相组件。

进一步优选地，所述的传感器组件包括气体浓度传感器、湿温度传感器，所述的气体浓度传感器可以检测空气中的气体成分及浓度，以判断是否有危化气体的泄露，如有毒气体（一氧化碳、氯乙烯、硫化氢等）和易燃气体（氢气、甲烷、乙烷等）的浓度，一旦发现环境温湿度或有害、可燃气体浓度超过安全阈值，则立刻上报工作人员进行处理，所述的湿温度传感器可以获取实际巡检区域环境的温湿度情况。

进一步优选地，所述的摄像及照相组件包括可见光高清摄像机、红外线摄像机、单目相机，所述的红外线摄像机主要用于夜间巡逻，拍摄夜间的视频图像。所述的单目相机为了能够对化工生产环境进行视觉上的感知与理解，可以获取工作环境的图像信息并进行处理。

优选地，所述的机器人平台还包括设置在所述的车体上的触屏显示器，所述的触屏显示器为用户提供人机交互界面，以便于用户修改控制参数，收集相关监测数据。

进一步优选地，所述的触屏显示器内集成有麦克风、扬声器，使所述的机器人平台具备声音数据采集和音频播放功能。

优选地，所述的通讯器内集成有惯性导航设备、GPS 设备。

优选地，所述的无人机包括机身、无人机控制组件、设置在所述的机身上的起落架、螺旋桨组、无人机驱动及电源组件以及摄像及传感组件。

进一步优选地，所述的无人机控制组件包括飞控模块、数传和图传模块，所述的飞控模块包括设置在所述的机身上的飞控密封盒、设置在所述的飞控密封盒内的飞行控制器、电源管理器以及调参接口，所述的飞行控制器分别与所述的电源管理器、调参接口相连接；所述的数传和图传模块包括设置在所述的机身上的数传和图传密封盒、设置在所述的数传和图传密封盒内的数传和图传无人机端、与所述的数传和图传无人机端相连接的数传和图传地面端，所述的数传和图传无人机端与所述的飞行控制器相连接。

进一步优选地，所述的无人机驱动及电源组件包括电源防爆盒、设置在所述的电源防爆盒内的电池、电子调速器以及集线器、电机座、设置在所述的电机座上的电机，所述的电池与所述的电源管理器相连接，所述的电池通过所述的集线器与所述的电子调速器相连接，所述的电子调速器的输入端与所述的调参接口相连接，所述的电子调速器的输出端与所述的电机相连接。

进一步优选地，所述的摄像及传感组件包括摄像机、传感器密封盒、设置在所述的传感器密封盒内的传感器控制板、与所述的传感器控制板相连接的气体传感器。

进一步优选地，所述的螺旋桨组设置有四组，每组所述的螺旋桨组设置有两个螺旋桨，两个所述的螺旋桨上下设置，双螺旋桨结构可以为所述的无人机提供更强的飞行动力，以便于搭载更多的传感组件。

本发明的一个目的是提供一种空地协同式智能巡检方法。

为达到上述目的，本发明采用的技术方案是：

一种空地协同式智能巡检方法，包括：

1）空地协同多机器人定位及建图：包括感知定位计算、地图创建、多信息融合定位，其中：

感知定位计算利用传感器组件对周围环境信息进行采集，对采集的数据进行处理后，对有效的环境感知和检测数据进行分析处理；

地图创建包括对环境进行建模扫描，收集传感器组件的数据并在各自的参考坐标系下进行局部三维点云地图的创建，对无人机和机器人平台运动轨迹初始对齐，提取两个局部地图中的地平面部分，对两个局部地图进行地图对齐的优化，对无人机和机器人平台获取到的运动轨迹和局部地图进行全局优化调整；

多信息融合定位包括对相对位置信息和 GPS 全局坐标、先验地图与当前感知数据配准等绝对位置信息进行融合计算，获取机器人位置和姿态信息，

2）空地协同跟踪及控制：包括无人机飞行控制系统设计、机器人平台轨迹跟踪控制、无人机自助降落控制，其中：

无人机飞行控制系统设计包括对无人机的空间六自由度建立动力学模型方程，分析由电机模型和螺旋桨气动模型组合而成的无人机执行器模型，并利用实际测量的拉力和扭矩曲线计算无人机相关的气动力参数；根据无人机的运动学和动力学模型将模型分成姿态和位置两部分模型，运动控制方法分为位置控制和姿态控制两部分，将一个位置和一个无人机姿态称为一个目标点，无人机的路径控制就是空间中很多个目标点的集合，无人机需要按照目标点的顺序，依次抵达规划目标点；

机器人平台轨迹跟踪控制利用 DDPG 算法根据机器人平台状态信息和环境反馈的信息，控制机器人平台跟踪规划路径；

无人机自主降落控制包括通过规划路径飞抵无人车上空，通过视觉导引系统搜索视觉标识，检测到视觉标识，启动自动导引降落程序，实现无人机的自主降落。

优选地，所述的方法还包括对事故的检测与预警，包括根据实际系统可能发生的故障和事故，建立故障到传感器事件的映射关系与事故到传感器事件序列的映射关系，根据建立的映射关系，构建基于状态树的系统诊断器，诊断器通过观测系统事件，在线实时进行故障检

测和事故预测，当检测到系统发生故障时，诊断器发出系统警告；诊断器实时计算事故发生的概率，当概率超过系统设定的阈值，发出警告。

由于上述技术方案运用，本发明与现有技术相比具有下列优点：

本发明搭建全天候的自主导航多类型机器人平台，保证机器人可以全方位、全天候执行给定的导航和巡检任务，综合运用物联网、人工智能、云计算、大数据等技术，集成环境感知、动态决策、行为控制和报警装置，具备自主感知、自主行走、自主保护、互动交流等能力，可帮助人类完成基础性、重复性、危险性的安保工作，推动安保服务升级，降低安保运营成本的多功能综合智能装备。

附图说明

附图 1 为本实施例的结构示意图；

附图 2 为本实施例中机器人平台的结构示意图（消隐平台主体）；

附图 3 为本实施例中机械手臂的结构示意图；

附图 4 为本实施例中机械爪的结构示意图；

附图 5 为本实施例中无人机的结构示意图；

附图 6 为本实施例的结构示意框图；

附图 7 为本实施例中巡检系统关系示意图；

附图 8 为实现图像感知的工作流程图；

附图 9 为本实施例中空地协同多机器人定位及建图的示意框图；

附图 10 为本实施例中感知定位计算的示意框图；

附图 11 为本实施例中地图创建的示意框图；

附图 12 为本实施例中多信息融合定位的示意图框图；

附图 13a、13b 为本实施例中无人机旋翼动力学模型；

附图 14 为本实施例中无人机跟踪控制系统示意框图；

附图 15 为本实施例中无人机控制器状态机示意图；

附图 16 为本实施例中 DDPG 轨迹跟踪控制器设计示意框图；

附图 17 为本实施例中跟踪误差设计示意图：P 为小车前方指定距离 L 的点，q 为轨迹目标点，并且 pq 垂直于 L；

附图 18 为本实施例中无人机/无人车协同巡检流程示意图；

附图 19 为本实施例中从传感器数据提取事件信息示意图；

附图 20 为本实施例中事故预测相关模型及架构示意框图；

附图 21 为本实施例中人员动作行为视频识别示意框图。

以上附图中：1、机器人平台；10、车体；11、车轮；12、机械手臂；120、底座；121、机械爪；1210、爪体；1211、爪手；1212、蜗杆；1213、涡轮；122、第一连接关节；123、第二连接关节；124、第三连接关节；125、第四连接关节；126、第五连接关节；130、激光雷达；131、气体浓度传感器；132、湿温度传感器；133、可见光高清摄像机；134、红外线摄像机；135、可旋转的结构；14、通讯器；15、触屏显示器；16、机器人控制器；17、电源组件；18、平台主体；2、无人机；20、机身；21、起落架；22、螺旋桨；23、摄像机。

具体实施方式

下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例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。

在本发明的描述中，需要说明的是，术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。此外，术语“第

一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

在本发明的描述中，需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

如图 1、2 所示的一种空地协同式智能巡检机器人，包括机器人平台 1、无人机 2。以下具体对机器人平台 1、无人机 2 进行详细描述。

机器人平台 1 包括车体 10、设置在车体 10 底部的车轮及驱动组件、设置在车体 1 上的：机械手臂 12、环境感知组件、通讯器 14、触屏显示器 15、机器人控制器 16 以及电源组件 17。其中：

车轮及驱动组件由四个电机配合减速器带动车轮 11 转动，运用机器人控制器 16 对四个车轮 11 分别进行控制，通过差速实现转向。

如图 3 所示：机械手臂 12 包括设置在车体 10 上底座 120、可转动地连接在底座 120 上的关节组件、可转动地连接在关节组件上的机械爪 121 以及驱动各部件转动的转动驱动件。关节组件包括一个或多个首尾依次可转动连接的连接关节。在本实施例中：关节组件包括与底座 120 可转动地连接的第一连接关节 122、与第一连接关节 122 可转动地连接的第二连接关节 123、与第二连接关节 123 可转动地连接的第三连接关节 124、与第三连接关节 124 可转动地连接的第四连接关节 125、与第四连接关节 125 可转动地连接的第五连接关节 126，机械爪 121 与第五连接关节 126 可转动地连接。转动驱动件采用如电机，由 6 个电机带动 6 个转动关节，实现机械手臂 12 中 6 个自由度的运动，带动机械爪 121 执行抓取操作。

机械手臂 12 可以为无人机 2 降落位置进行调整，以便于无人机 2 进行如无线充电；机械手臂 12 还可以为无人机 2 替换各种传感器；机械手臂 12 还可以在危险环境中执行抓取、旋转、按压等操作任务，例如，执行阀门的开关操作。

如图 4 所示：机械爪 121 包括可转动地连接在关节组件中第五连接关节 126 上的爪体 1210、连接在爪体 1210 上的一对爪手 1211 以及驱动爪手 1211 进行抓取动作的爪手驱动组件。在本实施例中：爪手驱动组件包括设置在爪体 1210 上的蜗杆 1212、连接在爪手 1210 一端并与蜗杆 1212 配合的涡轮 1213、驱动蜗杆 1212 转动的爪手驱动件。爪手 1211 上带有锯齿，以助于确保抓取的可靠性。爪手驱动件可以采用如电机带动机械爪 121 实现抓取功能。

环境感知组件包括激光雷达 130、传感器组件以及摄像及照相组件。其中：

激光雷达 130 是以发射激光束探测目标的位置、速度等特征量的雷达系统。机器人平台 1 使用激光雷达 130 对动态环境进行探测，收集目标距离、方位、高度、速度、姿态、形状等参数。通过激光雷达 130 探测机器人平台 1 周围的障碍物信息，在获取到激光雷达 130 的原始数据之后，需要进行数据的预处理。由于初始的激光数据较为杂乱，包括一些由测量误差和偶然误差得到的异常数据，因此需要其进行滤波，通常可以采用低通滤波或高斯滤波等方法。原始数据数据量由传感器分辨率所决定，通常较为庞大，为了方便在实际中应用，还需对数据进行降采样处理，通过数据滤波和降采样处理后的激光雷达数据，将应用在障碍物识别、物体检测等相关感知功能中。

传感器组件包括气体浓度传感器 131、湿温度传感器 132。气体浓度传感器 131 可以检测空气中的气体成分及浓度，以判断是否有危化气体的泄露，如有毒气体（一氧化碳、氯乙烯、硫化氢等）和易燃气体（氢气、甲烷、乙烷等）的浓度，一旦发现环境温湿度或有害、可燃气体浓度超过安全阈值，则立刻上报工作人员进行处理。湿温度传感器 132 可以获取实际巡检区域环境的温湿度情况。

摄像及照相组件包括可见光高清摄像机 133、红外线摄像机 134、单目相机。红外线摄像机 134 主要用于夜间巡逻，拍摄夜间的视频图像。为了能够对化工生产环境进行视觉上的感知与理解，单目相机可以获取工作环境的图像信息并进行处理。化工环境的巡检需求通常有

以下几类：工作人员防护装备是否穿戴完全；生产装置外观是否完好；关键指示灯是否正常等。

针对这些问题，现有方法通常采用模板匹配的方法进行识别，但这种方法泛化性差，若原图像中的匹配目标发生旋转或大小变化，该方法效果较差。本实施例采用深度学习的方法对图像进行识别，首先，对工作场景的对象进行图像样本采集，并设置对应标签，然后，搭建深度神经网络，对样本进行训练，通过训练使网络能够对于图像进行识别、分类等功能，如图 8 所示。

车体 10 上设置有可旋转的结构 135，如激光雷达 130、可见光高清摄像机 133、红外线摄像机 134 均可以设置在可旋转的结构 135 上。

通讯器 14 为无线通讯器，通讯器 14 主要负责与无人机 2 和基站进行信息传输，以确保信息传输的通畅。通讯器 14 内集成有惯性导航设备、GPS 设备。

触屏显示器 15 为用户提供人机交互界面，以便于用户修改控制参数，收集相关监测数据。通过人机交互界面以及高智能程度的机器人系统，简化系统操作流程，以降低人力成本。触屏显示器 15 内集成有麦克风、扬声器，使机器人平台 1 具备声音数据采集和音频播放功能。

电源组件 17 包括防爆盒、设置在防爆盒内的电池、电机。对于化工行业来说，防爆能力是必不可少的，机器人在工作过程中超高的电流容易产生电火花，一旦接触到可燃气体就会产生爆炸的危险，这类隐患将是难以想象的后果。在巡检过程中，如果遇到可燃气体泄漏的情况，极有可能引燃可燃气体，防爆性能是系统最重要的技术特征，采用防爆盒结构以确保其防爆性能。

此外，机器人平台 1 还包括设置在车体 10 上供无人机 1 起降及充电的平台主体 18，平台主体 18 与电源组件 17 相连接。该平台主体 18 为无人机 2 提供搭载和起降平台，平台主体 18 为圆形，圆形平台主体 18 更适用于无人机 2 降落位置的随机误差。同时，平台主体 18 也为无人机 2 提供无线充电功能，在无人机 2 执行完一次巡检任务后必须及时充电，因此在无人机 2 返回起降平台后，平台主体 18 利用无线充电功能对其进行充电。平台主体 18 提供的大功率无线供电技术无需任何物理上的连接，通过非辐射性的无线能量传输方式来完成充电作业，可以使无人机 2 在充电时完全摆脱人工操作，大大提高了无人机巡检的自动化水平。

如图 5、6 所示：无人机 2 包括机身 20、无人机控制组件、设置在机身 20 上的：起落架 21、螺旋桨组、无人机驱动及电源组件以及摄像及传感组件。

无人机控制组件包括飞控模块、数传和图传模块，飞控模块包括设置在机身 20 上的飞控密封盒、设置在飞控密封盒内的飞行控制器、电源管理器以及调参接口，飞行控制器分别与电源管理器、调参接口相连接，飞行控制器的内部有气压计、惯性导航系统和姿态增稳系统。数传和图传模块包括设置在机身 20 上的数传和图传密封盒、设置在数传和图传密封盒内的数传和图传无人机端、与数传和图传无人机端相连接的数传和图传地面端，数传和图传无人机端与飞行控制器相连接。

无人机驱动及电源组件包括电源防爆盒、设置在电源防爆盒内的电池、电子调速器以及集线器、电机座、设置在电机座上的电机，电池与电源管理器相连接，电池通过集线器与电子调速器相连接，电子调速器的输入端与调参接口相连接，电子调速器的输出端与电机相连接。

摄像及传感组件包括摄像机 23、传感器密封盒、设置在传感器密封盒内的传感器控制板、与传感器控制板相连接的气体传感器。

螺旋桨组设置有四组，每组螺旋桨组设置有两个螺旋桨 22，两个螺旋桨 22 上下设置。设计双螺旋桨结构可以为无人机提供更强的飞行动力，以便于搭载更多的传感组件。

此外，一台机器人平台可以搭载多个无人机，对机器人平台的样式也不做限定，如包括传感器组件、机械手的安装位置、车轮的增多/减少、相近的防爆设计，这些变化也属于本申请的保护范围。

以下具体阐述下空地协同式智能巡检的方法：

一：空地协同多机器人定位及建图：

主要包括高精度低时延感知定位计算、化工环境下空地协同多机器人地图创建、高动态化工环境下多信息融合定位。具体的说：

如图 10 所示：感知定位计算由三部分实现，包括传感器单元、时钟同步设备和计算机单元。

传感器单元利用工业相机（彩色和灰度）、三维激光雷达、惯性导航单元、GPS 等设备对机器人周围环境信息进行采集；各传感器单元产生的原始数据流经时钟同步后发送至计算机单元；计算机单元采集到传感器数据后，对数据进行预处理，处理内容包括点云噪声滤波、法向量分析、特征点提取、特征描述运算等，计算机单元分别安装在无人机和机器人平台上，其中有效的环境感知和化工检测数据回传至地面工作站后进行综合分析处理。

化工环境下空地协同多机器人地图创建主要解决单一机器人视角受限引起的地图空洞、视角缺失等问题，是构建高精度全覆盖环境地图的根本保证。本实施例针对无人机和机器人平台上的计算机单元发送的感知数据对机器人所处化工厂环境进行几何模型三维重建。

如图 11 所示：地图创建步骤包括：

1、无人机和机器人平台对化工厂区环境在远程遥控方式下进行建模扫描，两者运动轨迹处于跟随状态，收集各自计算机单元的传感器数据并在各自的参考坐标系下进行局部三维点云地图的创建；

2、利用无人机和机器人平台上的 GPS 位置信息对两者运动轨迹初始对齐；

3、提取两个局部地图中的地平面部分，然后基于面-面最近点迭代算法对两个局部地图进行地图对齐的优化；

4、基于优化理论，对无人机和机器人平台获取到的运动轨迹和局部地图进行全局优化调整，得到更精确的化工厂环境模型。

如图 12 所示：多信息融合定位引入扩展卡尔曼滤波框架，对惯导积分、轮式里程计、激光里程计等相对位置信息和 GPS 全局坐标、先验地图与当前感知数据配准等绝对位置信息进行有效融合计算，获取高精度低时延的机器人位置和姿态信息。

二、空地协同跟踪及控制：

主要包括无人机飞行控制系统设计、机器人平台轨迹跟踪控制、无人机自助降落控制。具体的说：

无人机飞行控制系统设计：

对无人机的空间六自由度建立动力学模型方程，分析由电机模型和螺旋桨气动模型组合而成的无人机执行器模型，并利用实际测量的拉力和扭矩曲线计算无人机相关的气动力参数。模型可以根据输入的空气气流速度和无人机四组螺旋桨组本身的速度和角速度计算得出每个执行机构此时收到的拉力和力矩，实现模型的仿真验证，如图 13a、13b 所示。

根据无人机的运动学和动力学模型可以将模型分成姿态和位置两部分模型，同样的运动控制方法分为位置控制和姿态控制两部分，将一个位置和一个无人机姿态称为一个目标点，无人机的路径控制就是空间中很多个目标点的集合，无人机需要按照目标点的顺序，依次抵达规划目标点，如图 14 所示。

在无人机的姿态控制中，使用自抗扰控制器实现对无人机的高度，偏航，俯仰，翻滚运动参数的控制，在位置控制中，设计基于反步法的位置控制器，使得无人机可以完成对目标轨迹的跟踪。为了使无人机能够在复杂环境中实现灵活的机动能力，需要为控制器设计一个状态机控制器，该控制器可以根据无人机所处于环境状态不同，自动调整机器人的飞行姿态和位置，如图 15 所示。

机器人平台轨迹跟踪控制：

运用强化学习进行轨迹跟踪控制，强化学习是一种在不了解控制和机械知识的情况下学习控制器的方法。强化学习强调与环境之间交互，是一个动态的学习过程。深度确定性策略梯度算法（DDPG）是一种深度强化学习算法，继承了策略梯度算法和行动者-评论家算法的

特征，利用 DDPG 算法根据轮式机器人状态信息和环境反馈的信息，控制轮式机器人跟踪规划路径。

首先由机器人实际位置和规划轨迹上目标点通过误差函数计算出行驶误差，将误差信息传递给 DDPG 网络，DDPG 网络通过状态描述感知环境，并根据当前的环境状态信息做出最优决策，并通过设置奖励函数，指导自身学习，最终实现对规划路径的高精度追踪，如图 16 所示。误差函数可以利用机器人的横向误差来设计，机器人通过感知系统，获得当前位置，并由路径规划系统获取预设轨迹位置，计算机器人前方假设点 p 与目标 q 之前的距离作为误差函数的值，利用横向误差不断引导机器人沿着轨迹行走。

DDPG 算法在使用前，需要进行网络的预训练，通常要在仿真器上进行真实环境的仿真训练。传统 DDPG 算法中，过少的训练样本会使训练效率很低，网路不能够很快收敛，通过改进算法中样本放回训练经验池的策略，当样本较少时，不进行网路训练，而让机器人继续探索，填充样本数量达到加速训练的目的；同时，为了解决复杂环境，机器人探索成本太大，前期大量的试错过程耗费大量无用功，本实施例使用迁移学习的方式，先预训练简单环境下的 DDPG 网络，将训练好的网络放在复杂环境中，逐步增加环境复杂度，使网络获得复杂环境生成运动策略的能力。

无人机自主降落控制：

机器人平台（无人车 UGV）作为无人机（UAV）的载台，可以实现无人机的自动起飞与自动视觉引导降落。在正常的巡检任务中，无人车按照预设巡检路进行巡检工作，在某些场景下，无人车不能直接到达巡检点，这时可以利用无人机到达这些巡检点，利用无人机作为无人车额外的眼睛，将巡检信息传递到无人车的机器人控制器；无人机在执行完信息的采集任务后，能够在视觉标识的引导下，自动降落到无人车的平台主体上，并完成之后的巡检任务。无人机自主降落需要控制无人机的高度和姿态的调整，这需要设计出有方向性以及一定规格的视觉标识。无人机首先通过规划系统的规划路径飞抵无人车上空，再通过视觉导引系统搜索视觉标识，一旦检测到视觉标识，就启动自动导引降落程序，实现无人机的自主降落，其中控制无人机降落过程中的控制器可以使用模糊控制器，增加降落过程的平顺性，如图 18 所示。

三：事故的检测与预警：

本实施例将对化工厂的运行动态建立离散事件系统模型，以离散事件系统相关理论分析传感器数据。对系统中如人员的动作行为、温度、气体浓度等不同结构的数据，根据数据结构、数据格式建立传感器数据字典，建立传感器数据包解析方法，综合逻辑判断、深度学习等方法，提取数据中所需要的特征信息，再结合信息论知识建立特征信息与事件信息之间的强映射关系，如图 19 所示。

根据实际系统可能发生的故障和事故，建立故障到传感器事件的映射关系与事故到传感器事件序列的映射关系，即将系统故障建模为系统中的故障事件，将系统事故建模成一系列事件序列的组合，根据建立的映射关系，构建基于状态树的系统诊断器，诊断器通过观测系统事件，在线实时进行故障检测和事故预测。当检测到系统发生故障时，诊断器发出系统警告；对于事故预测，诊断器实时计算事故发生的概率，当概率超过系统设定的阈值，发出警告，如图 20 所示。

针对化工企业生产过程中的人员安全问题，采用视频监控技术实现对人员的检测跟踪和特定行为的识别，进行人员的检测跟踪时，综合考虑到人的行为识别分析在微环境中对速度与精度的要求，可采用深度特征与人工特征相结合的行人检测与跟踪算法，满足系统实时性要求的同时，达到最优的人员检测精度，同时结合基于深度学习的物品检测算法，对生产区域内人员是否佩戴安全帽、防护目镜，有无穿戴长袖工作服等进行自动识别，进行人员特定行为的识别分析时，采用基于神经网络的人脸识别方法对跟踪目标进行识别，分类多次跟踪信息并进行融合，分析个体行为与运动轨迹之间的关系、个体行为与群体行为之间的关系，

建立个体、群体行为的自动机模型，利用离散事件系统相关知识识别行为，如图 21 所示。

此外，与本实施例中事故检测、预警方法的相近变换也属于本申请的保护范围。

本发明能够达到以下有益效果：

1、无人车与无人机的协同：

本发明设计了一种搭载无人机的轮式机器人平台，该平台可满足对巡检无人机的搭载、起降需求，摆脱需要工作人员携带无人机到现场的限制，大大提高了无人机的自主控制能力；轮式机器人平台可搭载无人机，并可携带大型高能量电池，在无人机电量不足时为其充电；轮式机器人平台还可携带不同种类的传感器模块，包含可见光摄像机、红外摄像机、激光雷达以及卫星导航系统接收机等装置，以弥补无人机负载能力的不足；无人机可在平台上选择所需的传感器模块，使用机械手臂为无人机更换传感器模块，大大提高了无人机巡检能力和效率。

2、防爆性能好：

本发明使用防爆盒隔离方式将瞬时高压电流与外界隔离开，从而使巡检机器人拥有防爆性能。

3、高智能程度的环境感知与理解：

本发明融合了多种传感器，对化工生产环境进行感知和理解，提出了通过在现场采集图片样本来训练深度神经网络，实现化工生产环境中人或设备的识别与检测，相比于传统的识别方法，检测结果更加可靠，模型泛化性更好。

4、动态环境的同步建图与定位：

面向复杂多变的化工环境，本发明引入了空地协同多机器人 SLAM 方法，突破大范围化工厂区域的全覆盖环境建模技术，攻克多传感器融合定位技术，实现巡检机器人在混杂化工环境下的高精度建模和安全可靠定位。

5、高速度高精度路径规划技术：

本发明将混合算法运用于路径寻优的求解，使得算法更加高效，将运动学约束融入全局规划之中，使得轨迹更加合理，易于跟踪，可以完成空地协同路径规划，并在保证各自路径可行的同时相互配合运动。

6、事故预警能力：

本发明针对化工企业生产过程中可能发生的事故，设计了一套基于离散事件系统理论的融合异构数据事故预测算法，可在空-地协同智能巡检机器人平台稳定运行，实现巡检机器人在化工作业环境中完成安全巡检的工作，过监管化工企业生产过程事故安全问题，极大减少安全事故，保障化工企业生产财产和人员生命安全。

上述实施例只为说明本发明的技术构思及特点，其目的在于让熟悉此项技术的人士能够了解本发明的内容并据以实施，并不能以此限制本发明的保护范围。凡根据本发明精神实质所作的等效变化或修饰，都应涵盖在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1. 一种空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：包括机器人平台、无人机，所述的机器人平台包括车体、设置在所述的车体底部的车轮及驱动组件、设置在所述的车体上的机械手臂、环境感知组件、通讯器、机器人控制器以及电源组件，所述的通讯器对所述的无人机与基站实现通信连接。

2. 根据权利要求 1 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的机械手臂包括设置在所述的车体上的底座、可转动地连接在所述的底座上的关节组件、可转动地连接在所述的关节组件上的机械爪以及驱动各部件转动的转动驱动件，所述的关节组件包括一个或多个首尾依次可转动连接的连接关节。

3. 根据权利要求 2 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的机械爪包括可转动地连接在所述的关节组件上的爪体、连接在所述的爪体上的一对爪手以及驱动所述的爪手进行抓取动作的爪手驱动组件，所述的爪手驱动组件包括设置在所述的爪体上的蜗杆、连接在所述的爪手一端并与所述的蜗杆配合的涡轮、驱动所述的蜗杆转动的爪手驱动件。

4. 根据权利要求 2 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的关节组件包括与所述的底座可转动地连接的第一连接关节、与所述的第一连接关节可转动地连接的第二连接关节、与所述的第二连接关节可转动地连接的第三连接关节、与所述的第三连接关节可转动地连接的第四连接关节、与所述的第四连接关节可转动地连接的第五连接关节，所述的机械爪与所述的第五连接关节可转动地连接。

5. 根据权利要求 1 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的机器人平台还包括设置在所述的车体上供所述的无人机起降及充电的平台主体，所述的平台主体与所述的电源组件相连接。

6. 根据权利要求 1 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的环境感知组件包括激光雷达、传感器组件以及摄像及照相组件。

7. 根据权利要求 6 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的传感器组件包括气体浓度传感器、湿温度传感器。

8. 根据权利要求 6 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的摄像及照相组件包括可见光高清摄像机、红外线摄像机、单目相机。

9. 根据权利要求 1 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的机器人平台还包括设置在所述的车体上的触屏显示器。

10. 根据权利要求 9 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的触屏显示器内集成有麦克风、扬声器。

11. 根据权利要求 1 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的无人机包括机身、无人机控制组件、设置在所述的机身上的起落架、螺旋桨组、无人机驱动及电源组件以及摄像及传感组件。

12. 根据权利要求 11 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的无人机控制组件包括飞控模块、数传和图传模块，所述的飞控模块包括设置在所述的机身上的飞控密封盒、设置在所述的飞控密封盒内的飞行控制器、电源管理器以及调参接口，所述的飞行控制器分别与所述的电源管理器、调参接口相连接；所述的数传和图传模块包括设置在所述的机身上的数传和图传密封盒、设置在所述的数传和图传密封盒内的数传和图传无人机端、与所述的数传和图传无人机端相连接的数传和图传地面端，所述的数传和图传无人机端与所述的飞行控制器相连接。

13. 根据权利要求 11 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的无人机驱动及电源组件包括电源防爆盒、设置在所述的电源防爆盒内的电池、电子调速器以及集线器、电机座、设置在所述的电机座上的电机，所述的电池与所述的电源管理器相连接，所述的电池通过所述的集线器与所述的电子调速器相连接，所述的电子调速器的输入端与所述的调参接

口相连接，所述的电子调速器的输出端与所述的电机相连接。

14. 根据权利要求 11 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的摄像及传感组件包括摄像机、传感器密封盒、设置在所述的传感器密封盒内的传感器控制板、与所述的传感器控制板相连接的气体传感器。

15. 根据权利要求 11 所述的空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：所述的螺旋桨组设置有四组，每组所述的螺旋桨组设置有两个螺旋桨，两个所述的螺旋桨上下设置。

16. 一种空地协同式智能巡检机器人，其特征在于：包括机器人平台、无人机，其中：

所述的机器人平台包括车体、设置在所述的车体底部的车轮及驱动组件、设置在所述的车体上的机械手臂、环境感知组件、通讯器、机器人控制器以及电源组件、供所述的无人机起降及充电的平台主体、集成有麦克风、扬声器的触屏显示器，所述的通讯器对所述的无人机与基站实现通信连接，所述的平台主体与所述的电源组件相连接，其中：

所述的机械手臂包括设置在所述的车体上的底座、可转动地连接在所述的底座上的关节组件、可转动地连接在所述的关节组件上的机械爪以及驱动各部件转动的转动驱动件，所述的关节组件包括一个或多个首尾依次可转动连接的连接关节，所述的机械爪包括可转动地连接在所述的关节组件上的爪体、连接在所述的爪体上的一对爪手以及驱动所述的爪手进行抓取动作的爪手驱动组件，所述的爪手驱动组件包括设置在所述的爪体上的蜗杆、连接在所述的爪手一端并与所述的蜗杆配合的涡轮、驱动所述的蜗杆转动的爪手驱动件，所述的关节组件包括与所述的底座可转动地连接的第一连接关节、与所述的第一连接关节可转动地连接的第二连接关节、与所述的第二连接关节可转动地连接的第三连接关节、与所述的第三连接关节可转动地连接的第四连接关节、与所述的第四连接关节可转动地连接的第五连接关节，所述的机械爪与所述的第五连接关节可转动地连接；所述的环境感知组件包括激光雷达、传感器组件以及摄像及照相组件，所述的传感器组件包括气体浓度传感器、湿温度传感器，所述的摄像及照相组件包括可见光高清摄像机、红外线摄像机、单目相机；

所述的无人机包括机身、无人机控制组件、设置在所述的机身上的起落架、螺旋桨组、无人机驱动及电源组件以及摄像及传感组件，其中：

所述的无人机控制组件包括飞控模块、数传和图传模块，所述的飞控模块包括设置在所述的机身上的飞控密封盒、设置在所述的飞控密封盒内的飞行控制器、电源管理器以及调参接口，所述的飞行控制器分别与所述的电源管理器、调参接口相连接；所述的数传和图传模块包括设置在所述的机身上的数传和图传密封盒、设置在所述的数传和图传密封盒内的数传和图传无人机端、与所述的数传和图传无人机端相连接的数传和图传地面端，所述的数传和图传无人机端与所述的飞行控制器相连接；所述的无人机驱动及电源组件包括电源防爆盒、设置在所述的电源防爆盒内的电池、电子调速器以及集线器、电机座、设置在所述的电机座上的电机，所述的电池与所述的电源管理器相连接，所述的电池通过所述的集线器与所述的电子调速器相连接，所述的电子调速器的输入端与所述的调参接口相连接，所述的电子调速器的输出端与所述的电机相连接；所述的摄像及传感组件包括摄像机、传感器密封盒、设置在所述的传感器密封盒内的传感器控制板、与所述的传感器控制板相连接的气体传感器。

17. 一种空地协同式智能巡检方法，其特征在于：其采用上述任意一项权利要求所述的空地协同式智能巡检机器人，包括：

1）空地协同多机器人定位及建图：包括感知定位计算、地图创建、多信息融合定位，其中：

感知定位计算利用传感器组件对周围环境信息进行采集，对采集的数据进行处理，对有效的环境感知和检测数据进行分析处理；

地图创建包括对环境进行建模扫描，收集传感器组件的数据并在各自的参考坐标系下进行局部三维点云地图的创建，对无人机和机器人平台运动轨迹初始对齐，提取两个局部地图中的地平面部分，对两个局部地图进行地图对齐的优化，对无人机和机器人平台获取到的运动轨迹和局部地图进行全局优化调整；

多信息融合定位包括对相对位置信息和 GPS 全局坐标、先验地图与当前感知数据配准等绝对

位置信息进行融合计算，获取机器人位置和姿态信息，

2）空地协同跟踪及控制：包括无人机飞行控制系统设计、机器人平台轨迹跟踪控制、无人机自助降落控制，其中：

无人机飞行控制系统设计包括对无人机的空间六自由度建立动力学模型方程，分析由电机模型和螺旋桨气动模型组合而成的无人机执行器模型，并利用实际测量的拉力和扭矩曲线计算无人机相关的气动力参数；根据无人机的运动学和动力学模型将模型分成姿态和位置两部分模型，运动控制方法分为位置控制和姿态控制两部分，将一个位置和一个无人机姿态称为一个目标点，无人机的路径控制就是空间中很多个目标点的集合，无人机需要按照目标点的顺序，依次抵达规划目标点；

机器人平台轨迹跟踪控制利用 DDPG 算法根据机器人平台状态信息和环境反馈的信息，控制机器人平台跟踪规划路径；

无人机自主降落控制包括通过规划路径飞抵无人车上空，通过视觉导引系统搜索视觉标识，检测到视觉标识，启动自动导引降落程序，实现无人机的自主降落。

18. 根据权利要求 17 所述的空地协同式智能巡检方法，其特征在于：所述的方法还包括对事故的检测与预警，包括根据实际系统可能发生的故障和事故，建立故障到传感器事件的映射关系与事故到传感器事件序列的映射关系，根据建立的映射关系，构建基于状态树的系统诊断器，诊断器通过观测系统事件，在线实时进行故障检测和事故预测，当检测到系统发生故障时，诊断器发出系统警告；诊断器实时计算事故发生的概率，当概率超过系统设定的阈值，发出警告。

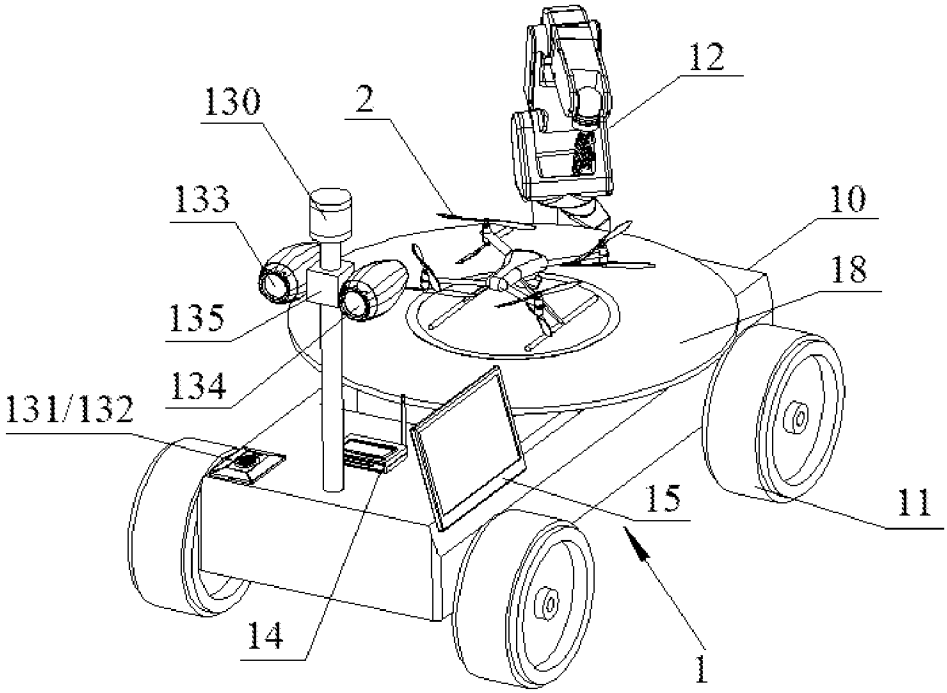

图 1

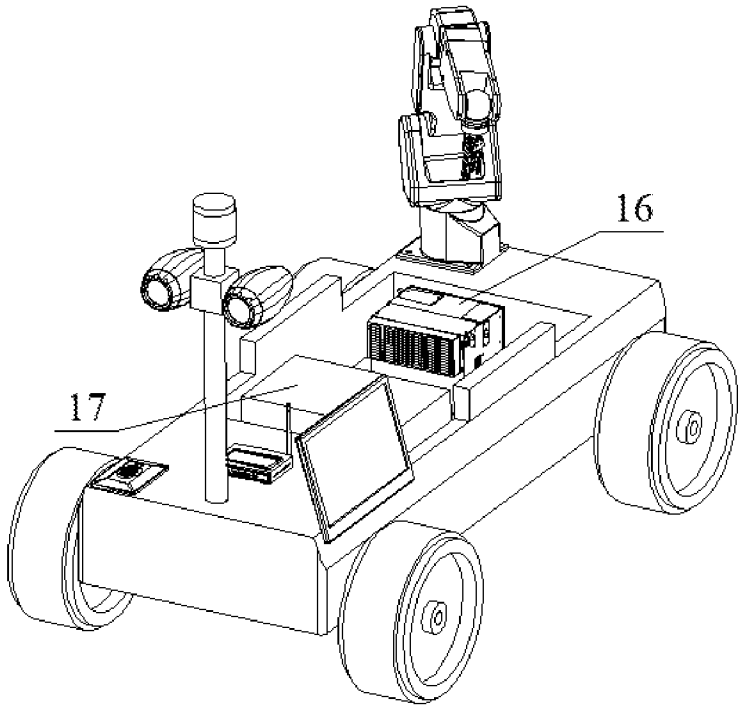

图 2

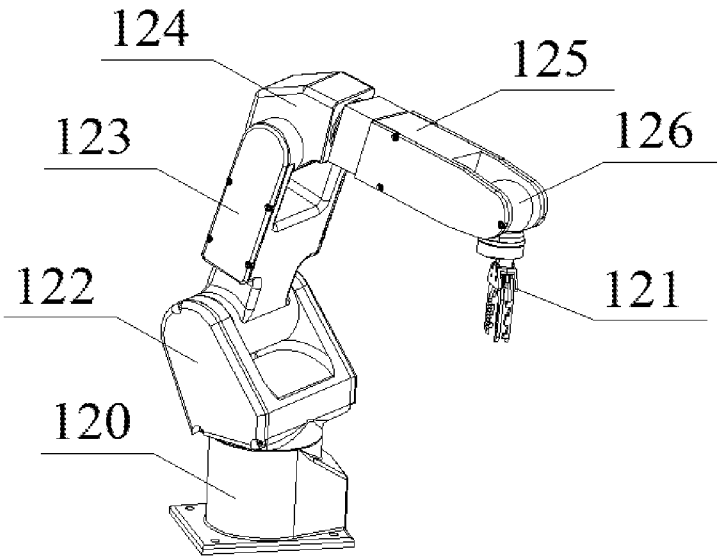

图 3

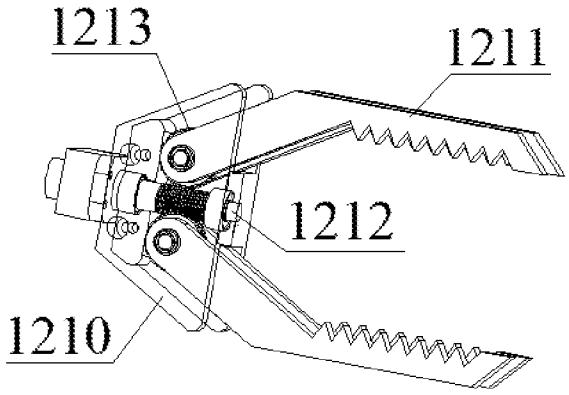

图 4

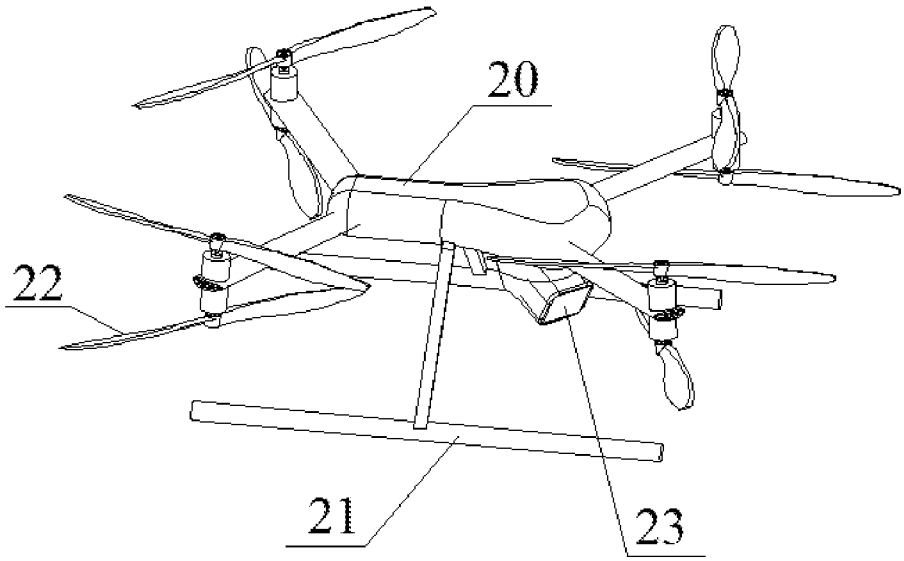
20
22
21
23

图 5

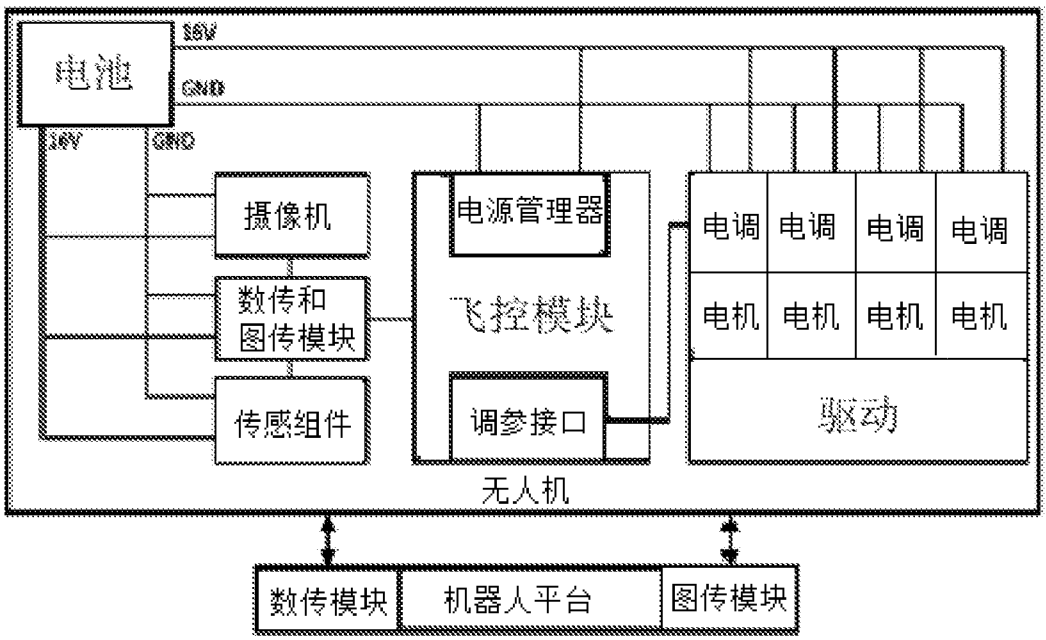
电池
16V
GND
16V
GND
摄像机
数传和
图传模块
传感组件
电源管理器
飞控模块
调参接口
电调
电调
电调
电调
电机
电机
电机
电机
驱动
无人机
数传模块
机器人平台
图传模块

图 6

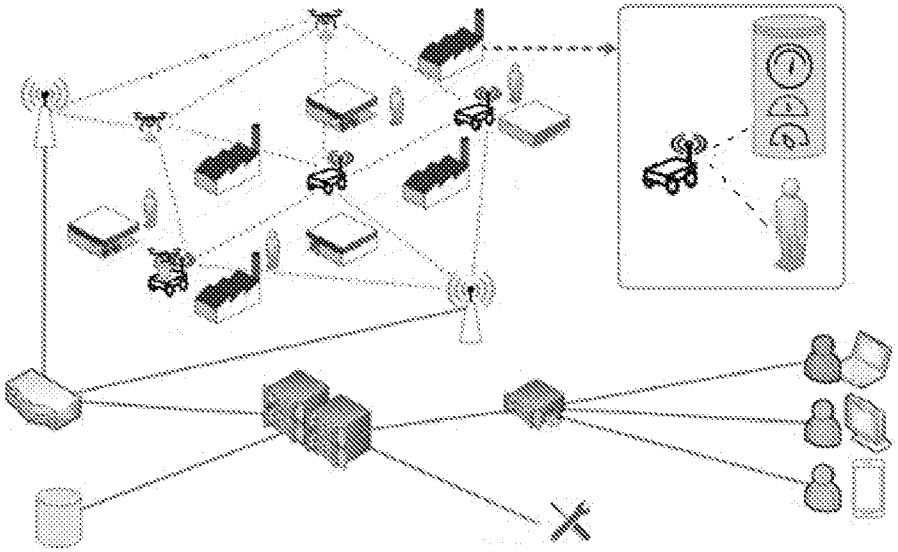

图 7

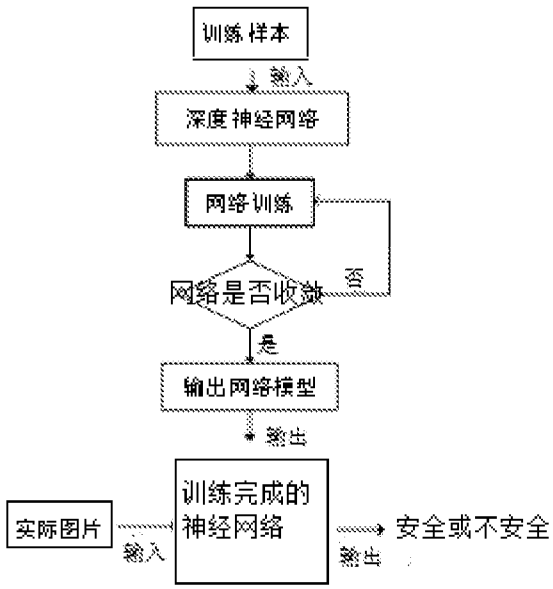
训练样本
输入
深度神经网络
网络训练
网络是否收敛
否
是
输出网络模型
输出
训练完成的
神经网络
实际图片
输入
安全或不安全
输出

图 8

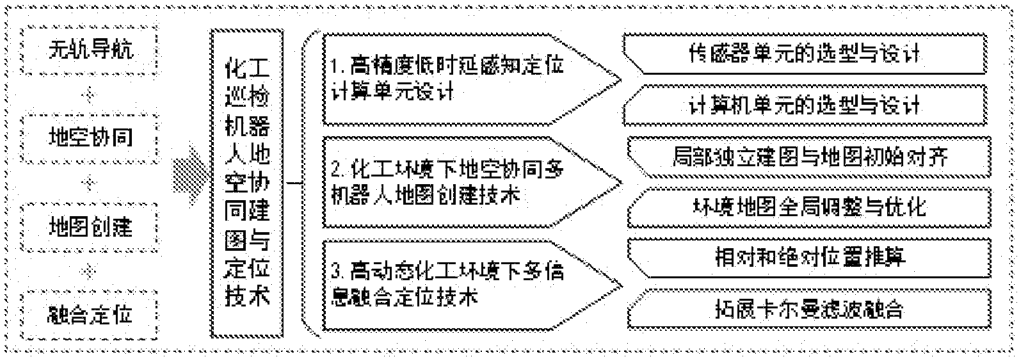
无轨导航
地空协同
地图创建
融合定位
化工巡检机器人地空协同建图与定位技术
1. 高精度低时延感知定位计算单元设计
2. 化工环境下地空协同多机器人地图创建技术
3. 高动态化工环境下多信息融合定位技术
传感器单元的选型与设计
计算机单元的选型与设计
局部独立建图与地图初始对齐
环境地图全局调整与优化
相对和绝对位置推算
拓展卡尔曼滤波融合

图 9

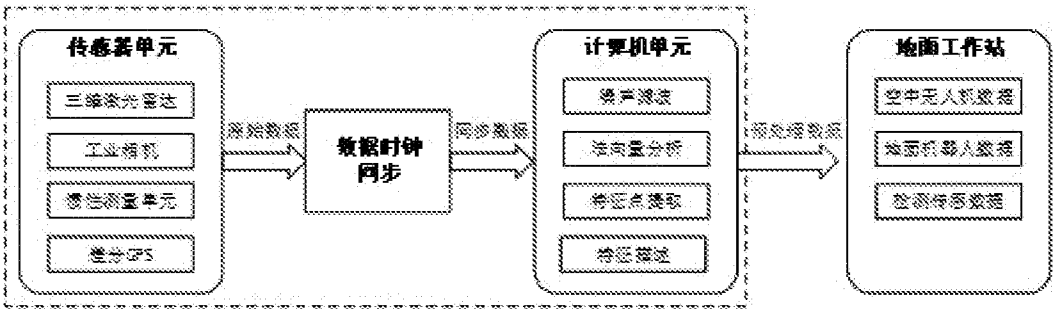
传感器单元
三维激光雷达
工业相机
惯性测量单元
差分GPS
原始数据
数据时钟同步
同步数据
计算机单元
语音播报
语义量分析
特征点提取
特征描述
标定结果数据
地面工作站
空中无人机数据
地面机器人数据
检测传感数据

图 10

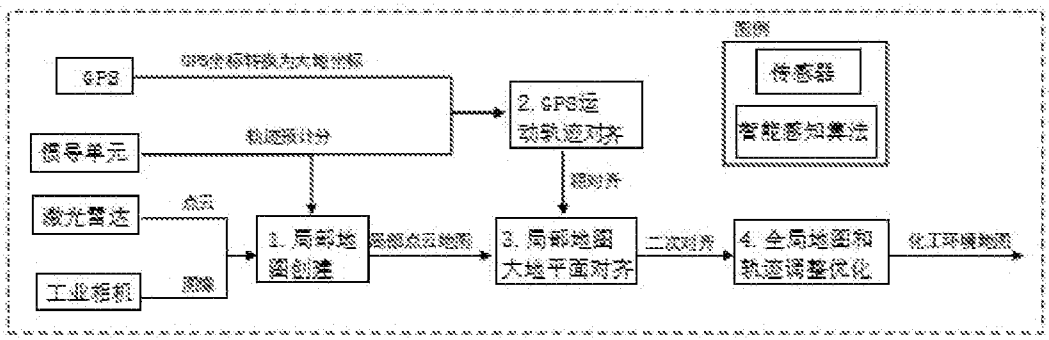
GPS
惯导单元
激光雷达
工业相机
点云
图像
1. 局部地图创建
2. GPS运动轨迹对齐
3. 局部地图大地平面对齐
二次对齐
4. 全局地图和轨迹调整优化
化工环境地图
图像
传感器
智能感知算法

图 11

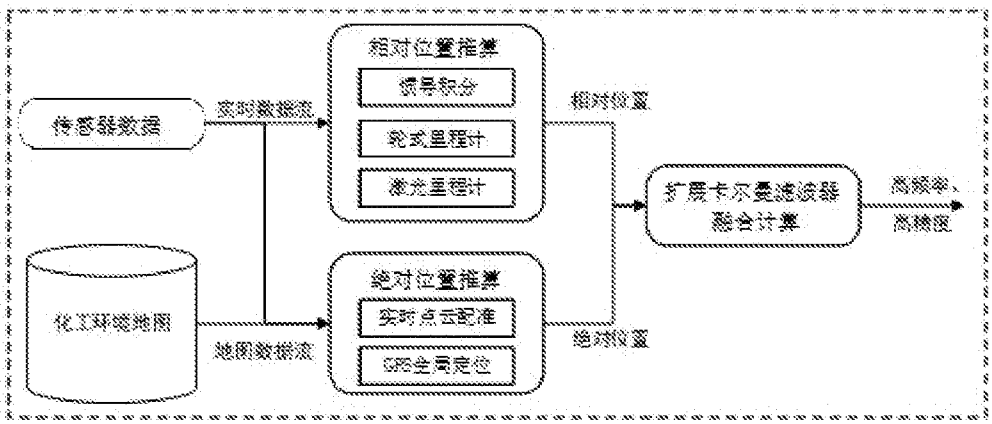

图 12

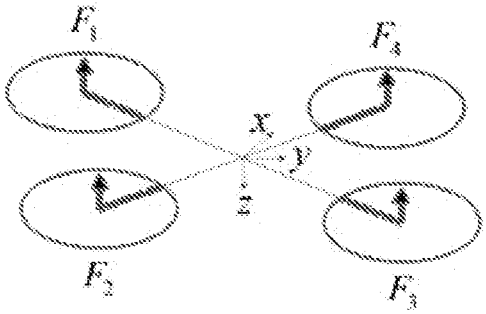

图 13a

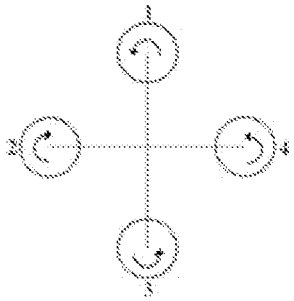

图 13b

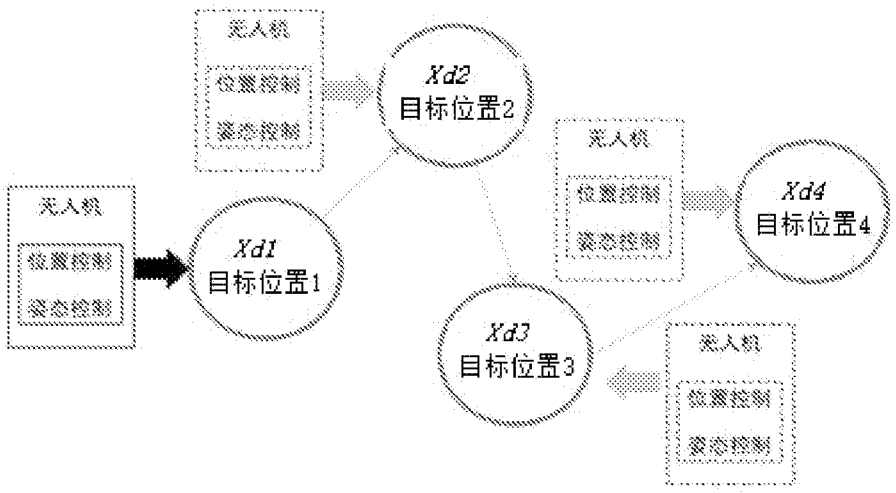

图 14

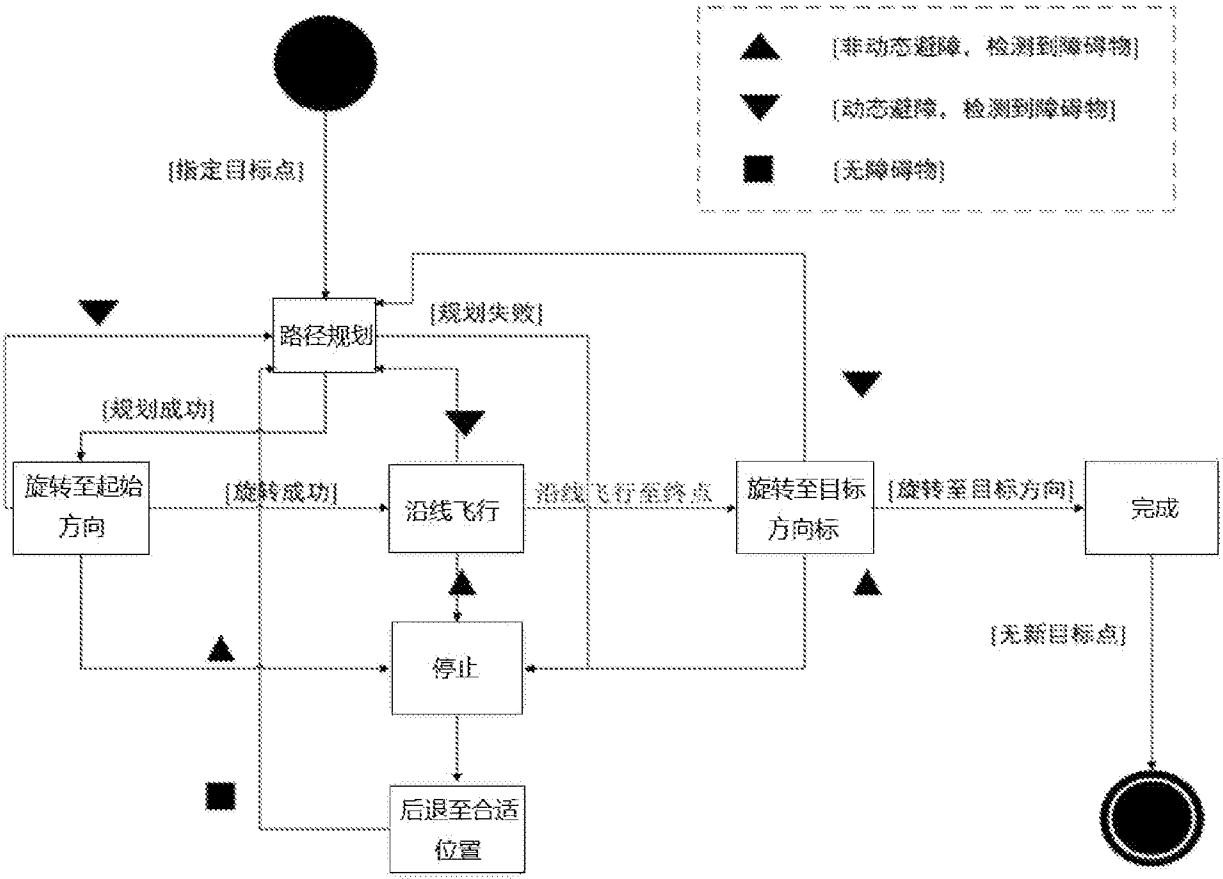
[非动态避障，检测到障碍物]
[动态避障，检测到障碍物]
[无障碍物]
[指定目标点]
路径规划
[规划失败]
[规划成功]
旋转至起始方向
[旋转成功]
沿线飞行
沿线飞行至终点
旋转至目标方向标
[旋转至目标方向]
完成
停止
[无新目标点]
后退至合适位置

图 15

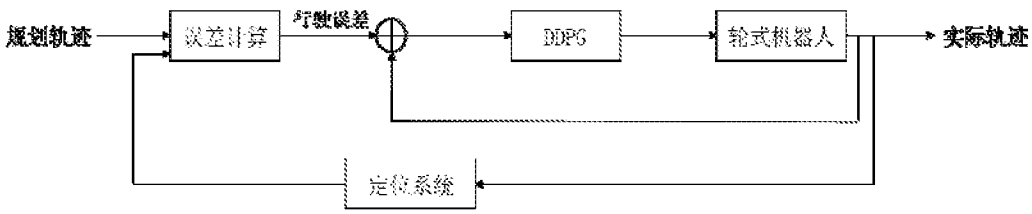
规划轨迹
状态计算
DDPG
轮式机器人
实际轨迹
定位系统

图 16

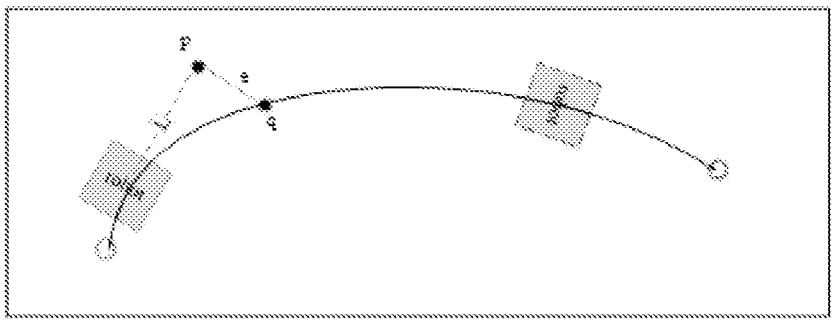

图 17

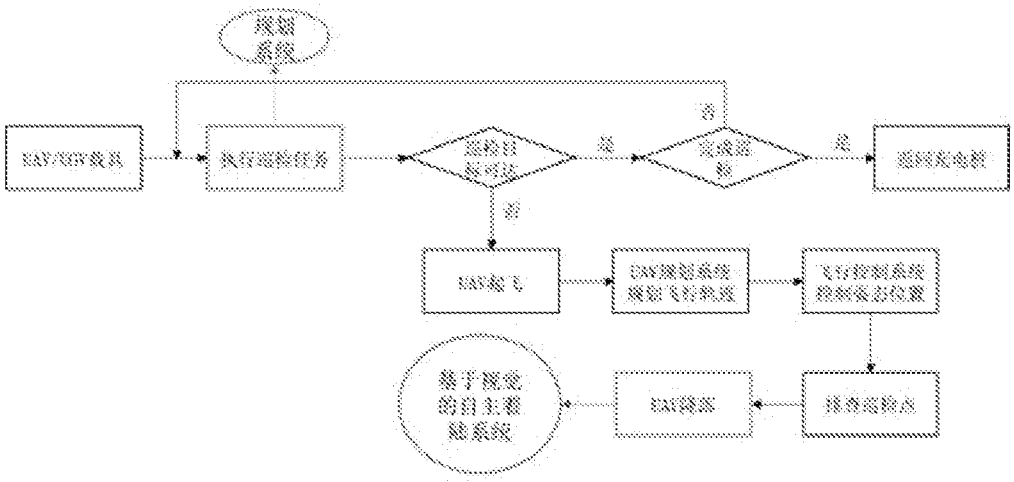

图 18

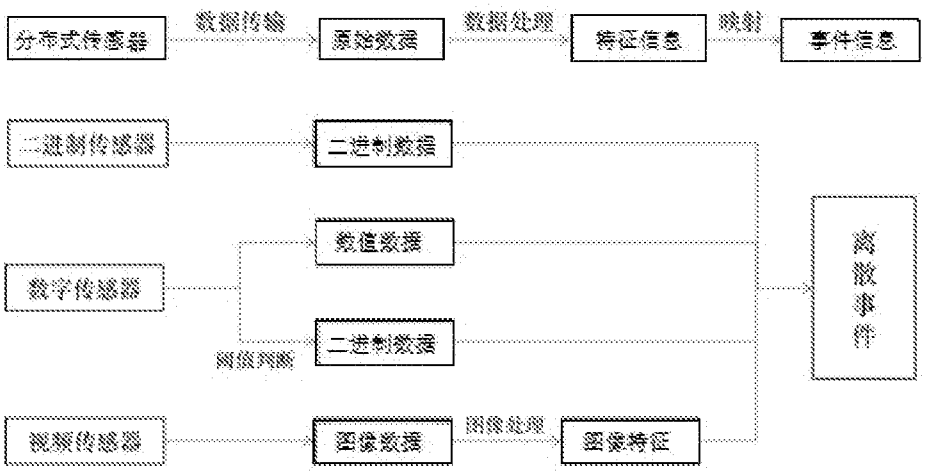
分布式传感器
数据传输
原始数据
数据处理
特征信息
映射
事件信息
二进制传感器
二进制数据
数值数据
数字传感器
阈值判断
二进制数据
离散事件
视频传感器
图像数据
图像处理
图像特征

图 19

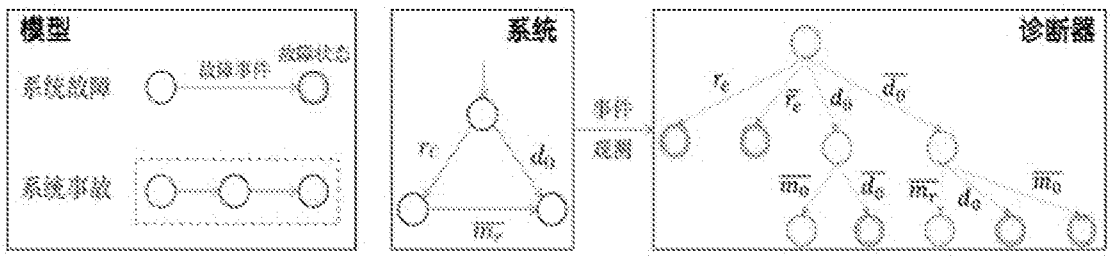
模型
系统故障
故障事件
故障状态
系统正常
系统
事件观测
诊断器

图 20

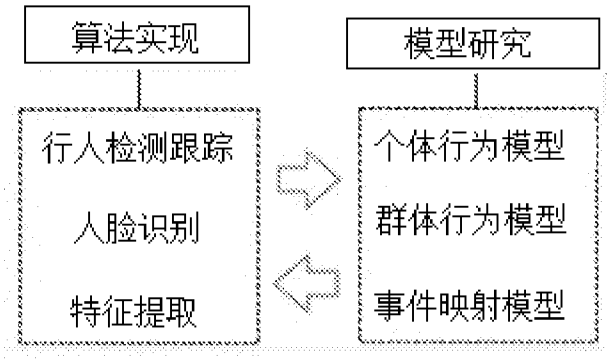

图 21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2020/115072

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J 5/00(2006.01)i; B25J 19/02(2006.01)i; B25J 19/06(2006.01)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)

B25J; B60P; B64D; B64C

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)

CNPAT, EPODOC, WPI, CNKI: 巡, 检, 车, 无人机, 翼, 充电, 平台, 机械臂, 机械手, 机器人, 起飞, 降落, 起降, 照相, 摄像, prowl+, monitor+, detect+, vehicle, drone, UAV, aerial, unmanned, helicopter, aircraft, wing?, rotor?, charg+, robot+, arm?, manipulator, landing, depart+, camera?, video

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111300372 A (TONGJI ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH INSTITUTE (SUZHOU) CO., LTD.) 19 June 2020 (2020-06-19) description, paragraphs [0002]-[0120], and figures 1-21	1-18
E	CN 211890820 U (TONGJI ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH INSTITUTE (SUZHOU) CO., LTD.) 10 November 2020 (2020-11-10) description, paragraphs [0002]-[0120], and figures 1-21	1-18
Y	CN 208656901 U (ZHENGZHOU FENGJIA TECHNOLOGY CO., LTD.) 26 March 2019 (2019-03-26) description, paragraphs [0002]-[0024], and figures 1-3	1-16
Y	CN 207256259 U (SHANGHAI HRSTEK CO., LTD.) 20 April 2018 (2018-04-20) description, paragraphs [0007]-[0063], and figures 1-10	1-16
Y	CN 207360445 U (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 15 May 2018 (2018-05-15) description, paragraphs [0002]-[0040], and figures 1-7	2-4, 16

☑ 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
"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	Date of mailing of the international search report
08 December 2020	**30 December 2020**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 207415378 U (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM (EAST CHINA)) 29 May 2018 (2018-05-29) entire document	1-18
A	CN 109227527 A (TONGJI UNIVERSITY) 18 January 2019 (2019-01-18) entire document	1-18
A	KR 20200011719 A (YOUNG, Kim Nan) 04 February 2020 (2020-02-04) entire document	1-18
A	DE 102018205880 B3 (VOLKSWAGEN A.G.) 25 July 2019 (2019-07-25) entire document	1-18
A	WO 2019211558 A1 (OCTOPUS ROBOTS) 07 November 2019 (2019-11-07) entire document	1-18
A	US 2016018224 A1 (REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MINNESOTA) 21 January 2016 (2016-01-21) entire document	1-18
A	WO 2016143806 A1 (CHIBA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 15 September 2016 (2016-09-15) entire document	1-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2020/115072

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 111300372 A	19 June 2020	None	
CN 211890820 U	10 November 2020	None	
CN 208656901 U	26 March 2019	None	
CN 207256259 U	20 April 2018	None	
CN 207360445 U	15 May 2018	None	
CN 207415378 U	29 May 2018	None	
CN 109227527 A	18 January 2019	None	
KR 20200011719 A	04 February 2020	None	
DE 102018205880 B3	25 July 2019	None	
WO 2019211558 A1	07 November 2019	FR 3080838 A1	08 November 2019
US 2016018224 A1	21 January 2016	US 9464902 B2	11 October 2016
WO 2016143806 A1	15 September 2016	JP 6713984 B2	24 June 2020
		JP WO2016143806 A1	01 March 2018

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2020/115072

A. 主题的分类

B25J 5/00(2006.01)i; B25J 19/02(2006.01)i; B25J 19/06(2006.01)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)

B25J; B60P; B64D; B64C

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））

CNPAT,EPODOC,WPI,CNKI:巡,检,车,无人机,翼,充电,平台,机械臂,机械手,机器人,起飞,降落,起降,照相,摄像,prowl+,monitor+,detect+,vehicle,drone,UAV,aerial, unmanned,helicopter,aircraft,wing?,rotor?,charg+,robot+,arm?,manipulator,landing,depart+,camera?,video

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 111300372 A (同济人工智能研究院苏州有限公司) 2020年 6月 19日 (2020-06-19) 说明书第[0002]-[0120]段，附图1-21	1-18
E	CN 211890820 U (同济人工智能研究院苏州有限公司) 2020年 11月 10日 (2020-11-10) 说明书第[0002]-[0120]段，附图1-21	1-18
Y	CN 208656901 U (郑州丰嘉科技有限公司) 2019年 3月 26日 (2019-03-26) 说明书第[0002]-[0024]段，附图1-3	1-16
Y	CN 207256259 U (上海合时安防技术有限公司) 2018年 4月 20日 (2018-04-20) 说明书第[0007]-[0063]段，附图1-10	1-16
Y	CN 207360445 U (华南理工大学) 2018年 5月 15日 (2018-05-15) 说明书第[0002]-[0040]段，附图1-7	2-4，16
A	CN 207415378 U (中国石油大学华东) 2018年 5月 29日 (2018-05-29) 全文	1-18
A	CN 109227527 A (同济大学) 2019年 1月 18日 (2019-01-18) 全文	1-18

☑ 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

“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	国际检索报告邮寄日期
2020年 12月 8日	2020年 12月 30日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	李慧杰
传真号 (86-10)62019451	电话号码 86-10-53961022

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
A	KR 20200011719 A (YOUNG, Kim Nan) 2020年 2月 4日 (2020-02-04) 全文	1-18
A	DE 102018205880 B3 (VOLKSWAGEN A.G.) 2019年 7月 25日 (2019-07-25) 全文	1-18
A	WO 2019211558 A1 (OCTOPUS ROBOTS) 2019年 11月 7日 (2019-11-07) 全文	1-18
A	US 2016018224 A1 (REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MINNESOTA) 2016年 1月 21日 (2016-01-21) 全文	1-18
A	WO 2016143806 A1 (CHIBA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 2016年 9月 15日 (2016-09-15) 全文	1-18

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2020/115072

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	111300372	A	2020年 6月 19日	无			
CN	211890820	U	2020年 11月 10日	无			
CN	208656901	U	2019年 3月 26日	无			
CN	207256259	U	2018年 4月 20日	无			
CN	207360445	U	2018年 5月 15日	无			
CN	207415378	U	2018年 5月 29日	无			
CN	109227527	A	2019年 1月 18日	无			
KR	20200011719	A	2020年 2月 4日	无			
DE	102018205880	B3	2019年 7月 25日	无			
WO	2019211558	A1	2019年 11月 7日	FR	3080838	A1	2019年 11月 8日
US	2016018224	A1	2016年 1月 21日	US	9464902	B2	2016年 10月 11日
WO	2016143806	A1	2016年 9月 15日	JP	6713984	B2	2020年 6月 24日
				JP	WO2016143806	A1	2018年 3月 1日