

(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
2018 年 2 月 22 日 (22.02.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/032933 A1

- (51) 国际专利分类号:
G05D 1/02 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/093788
- (22) 国际申请日: 2017 年 7 月 21 日 (21.07.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610696719.2 2016 年 8 月 17 日 (17.08.2016) CN
- (71) 申请人: 国网山东省电力公司电力科学研究院 (STATE GRID SHANDONG ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) [CN/CN]; 中国山东省济南市市中区望岳路 2000 号, Shandong 250002 (CN)。 山东鲁能智能技术有限公司 (SHANDONG LUNENG INTELLIGENCE

TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国山东省济南市高新区新泺大街 2008 号银荷大厦 B 座 6 楼, Shandong 250101 (CN)。 国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。

(72) 发明人: 肖鹏 (XIAO, Peng); 中国山东省济南市高新区新泺大街 2008 号银荷大厦 B 座 6 楼, Shandong 250101 (CN)。 栾贻青 (LUAN, Yiqing); 中国山东省济南市高新区新泺大街 2008 号银荷大厦 B 座 6 楼, Shandong 250101 (CN)。 慕世友 (MU, Shiyu); 中国山东省济南市高新区新泺大街 2008 号银荷大厦 B 座 6 楼, Shandong 250101 (CN)。 李建祥 (LI, Jianxiang); 中国山东省济南市高新区新泺大街 2008 号银荷大厦 B 座 6 楼, Shandong 250101 (CN)。 赵金龙 (ZHAO, Jinlong);

(54) Title: SUBSTATION INSPECTION ROBOT NAVIGATION CONTROL SYSTEM AND METHOD

(54) 发明名称: 变电站巡检机器人导航控制系统及方法

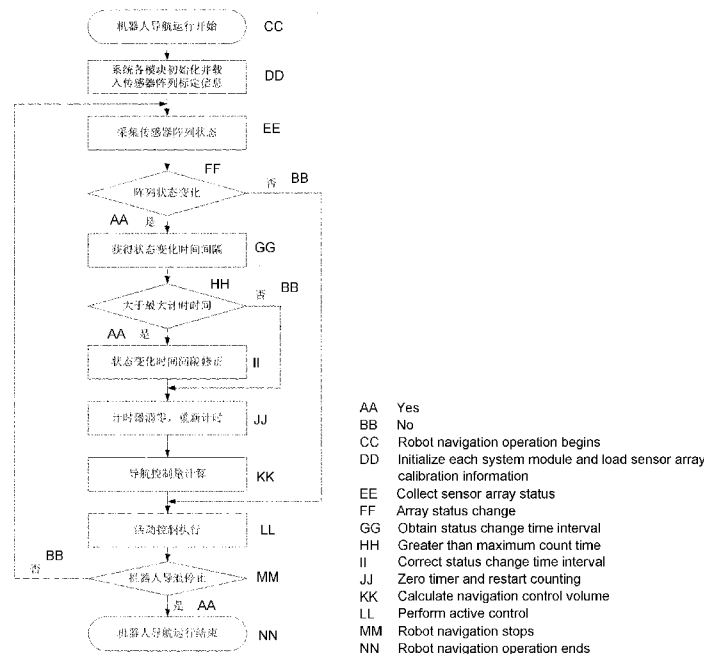


图 2

(57) Abstract: Provided are a substation inspection robot navigation control system and method; the substation inspection robot navigation control system comprises a magnetic sensor array, an array status processing module, a navigation control module, and a motion control module; the magnetic sensor array collects an actual lateral offset and transmits sensor array status information to the array status processing module; the array status processing module is connected to the magnetic sensor array and the navigation control module and is used, according to magnetic sensor array calibration information, to obtain a lateral offset corresponding to the magnetic sensor



中国山东省济南市高新区新泺大街2008号银荷大厦B座6楼, Shandong 250101 (CN)。王海鹏(WANG, Haipeng); 中国山东省济南市高新区新泺大街2008号银荷大厦B座6楼, Shandong 250101 (CN)。李丽(LI, Li); 中国山东省济南市高新区新泺大街2008号银荷大厦B座6楼, Shandong 250101 (CN)。王兴照(WANG, Xingzhao); 中国山东省济南市高新区新泺大街2008号银荷大厦B座6楼, Shandong 250101 (CN)。吕俊涛(LV, Juntao); 中国山东省济南市高新区新泺大街2008号银荷大厦B座6楼, Shandong 250101 (CN)。李希智(LI, Xizhi); 中国山东省济南市高新区新泺大街2008号银荷大厦B座6楼, Shandong 250101 (CN)。杨尚伟(YANG, Shangwei); 中国山东省济南市高新区新泺大街2008号银荷大厦B座6楼, Shandong 250101 (CN)。郝永鑫(HAO, Yongxin); 中国山东省济南市高新区新泺大街2008号银荷大厦B座6楼, Shandong 250101 (CN)。张旭(ZHANG, Xu); 中国山东省济南市高新区新泺大街2008号银荷大厦B座6楼, Shandong 250101 (CN)。

(74) 代理人: 北京品源专利代理有限公司(BEYOND ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市海淀区莲花池东路39号西金大厦6层, Beijing 100036 (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, 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, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

array status and status change time interval; the navigation control module uses the current lateral offset and status change time interval and calculates the navigation control volume and sends it to the motion control module so as to control the motion of the inspection robot. The invention performs prediction and advance adjustment of the trend of lateral offset change resulting from moving the robot, alleviates the impact that the navigation control output lag present in the navigation control system has on system stability, and improves the stability of the robot in operation.

(57) 摘要: 一种变电站巡检机器人导航控制系统及方法, 变电站巡检机器人导航控制系统包括磁传感器阵列、阵列状态处理模块、导航控制模块和运动控制模块, 磁传感器阵列采集实际横向偏移量, 将传感器阵列状态信息传输给阵列状态处理模块; 阵列状态处理模块, 连接磁传感器阵列和导航控制模块, 用于依据磁传感器阵列标定信息, 得到磁传感器阵列状态所对应的横向偏移量以及状态变化时间间隔; 导航控制模块利用当前横向偏移量和状态改变时间间隔, 计算导航控制量并发送至运动控制模块, 以控制巡检机器人的运动。其实现对机器人运动导致的横向偏移变化趋势进行预测并提前进行调整, 改善导航控制系统中存在的导航控制输出滞后对系统稳定性造成的影响, 提升机器人运行的稳定性。

变电站巡检机器人导航控制系统及方法

技术领域

本公开涉及一种变电站巡检机器人导航控制系统及方法。

背景技术

变电站巡检机器人是一种全自主运行的地面移动机器人，其可携带可见光摄像机、红外热像仪、拾音器等传感器对电力设备进行自动巡检，有效降低人工巡检的劳动强度，保障变电站设备安全运行。

在变电站巡检机器人的应用中，可靠稳定的导航运行是保证其完成巡检任务的基础。目前，巡检机器人变电站内导航运行一般采用磁轨迹引导方式实现，相应的导航控制系统主要由磁传感器阵列、导航控制模块和运动控制模块三部分组成。磁传感器阵列是由数个单一磁传感器沿直线排列制成，每当磁轨迹产生磁场落入阵列中传感器检测范围内时，对应传感器将以数字开关量方式输出以表明检测到磁轨迹；导航控制模块则采样传感器阵列中各传感器输出开关量状态序列，即当前传感器阵列状态，以得到传感器阵列中心相对于磁轨迹的横向偏移大小，并据此生成运动控制量发送至运动控制模块执行，从而保证机器人沿磁轨迹运行。

基于磁轨迹引导的导航控制系统，目前已在巡检机器人产品中得到了普遍应用，但在实际应用过程中，却发现机器人高速运行时运行稳定性不理想，制约了巡检任务执行效率的进一步提升。

发明内容

本公开为了解决上述问题，提出了一种变电站巡检机器人导航控制系统及方法，本公开在不对现有巡检机器人导航控制系统做大幅改变的前提下，有效提升巡检机器人导航控制效果。

为了实现上述目的，本公开采用如下技术方案：

一种变电站巡检机器人导航控制系统，包括磁传感器阵列、阵列状态处理模块、导航控制模块和运动控制模块，其中：

所述磁传感器阵列，采集实际横向偏移量，将传感器阵列状态信息传输给阵列状态处理模块；

所述阵列状态处理模块，连接磁传感器阵列和导航控制模块，设置为依据磁传感器阵列标定信息，得到磁传感器阵列状态所对应的横向偏移量以及状态变化时间间隔，之后发送至导航控制模块；

所述导航控制模块，设置为利用当前横向偏移量和状态改变时间间隔计算导航控制量，之后发送至运动控制模块；

所述运动控制模块执行导航控制模块的导航指令，控制巡检机器人的运动。

所述磁传感器阵列以数字开关量输出方式与阵列状态处理模块连接，然后阵列状态处理模块则利用数字通讯方式与导航控制模块连接，最后导航控制模块也通过数字通讯方式连接运动控制模块。

所述运动控制模块内还包括电机驱动器与车轮驱动电机，电机驱动器驱动车轮驱动电机工作。

一种变电站巡检机器人导航控制方法，包括以下步骤：

(1)机器人导航运行开始时，进行初始化，同时载入磁传感器阵列标定信息；

(2)机器人导航运行过程中，阵列状态处理模块采集传感器阵列状态输出，与传感器阵列标定信息进行比较，得到当前磁传感器阵列中心相对于磁轨迹的

横向偏移量，在此过程中，阵列状态处理模块还负责在传感器阵列状态改变时测量状态改变之间的时间间隔；

(3)导航控制模块综合利用阵列状态处理模块得到的当前横向偏移量和状态改变时间间隔，计算得到导航控制量并发送至运动控制模块执行。

所述步骤(1)中，磁传感器阵列标定信息是在机器人导航运行前，通过执行传感器标定步骤得到，进行标定的主要目的则是为了将各传感器阵列状态所代表的横向偏移量进行定量描述，以便后续导航控制使用。

所述步骤(1)中，具体方法为：首先将机器人静止放置于水平面上，使标定用磁轨迹至于磁传感器一侧水平面；由于磁传感器阵列中传感器一般沿垂直于机器人运行方向排列，标定时需面向机器人运行的反方向，从传感器阵列的左外侧向右外侧沿水平面滑动，此过程中，将磁传感器阵列中首次检测到磁轨迹的位置设为零点，之后每当磁传感器阵列状态变化就记录当时磁轨迹位置与零点之间的距离，直至磁轨迹从右端滑出为止；最后，求标定过程得到距离数值的均值，再将以上距离值与该均值相减，从而得到传感器阵列每个状态所代表的横向偏移量。

所述步骤(2)中，测量传感器阵列状态改变时间间隔步骤为：

(2-1)磁传感器阵列检测到磁轨迹时，阵列状态处理模块计时器清零，并开始计时；

(2-2)当磁传感器阵列输出状态变化，则读取当前计时器值 T_c ，如果在计时器允许最大计时时间 T_{max} 内，当前读出值 T_c 即为相邻状态变化时间间隔 ΔT ，否则将相邻状态变化时间间隔 ΔT 修正为计时器允许最大计时值 T_{max} ；

(2-3)清零计时器，并开始下一次状态变化时间间隔测量计时。

所述步骤(3)中，导航控制量的具体计算方法包括：

(3-1)将从阵列状态处理模块得到的当前横向偏移量 D_c 与系数 K_p 相乘，得到横向偏移控制量 U_p ；

(3-2)将当前横向偏移量 D_c 和上一次获取的横向偏移量 D_p 相减，得到横向偏移变化量，之后该变化量再乘以采样控制周期 T_s 与阵列状态变化时间间隔 ΔT 之商，从而得到横向偏移变化趋势值，最后该趋势值乘以系数 K_d ，得到横向偏移变化趋势控制量 U_d ；

(3-3)横向偏移控制量 U_p 与横向偏移变化趋势控制量 U_d 相加，即可得到最终的导航控制量 U 。

所述步骤(3-3)中，最终的导航控制量 U 的计算方法为：

$$U = U_p + U_d = K_p * D_c + K_d * (D_c - D_p) * (T_s / \Delta T)$$

其中： U_p 为横向偏移控制量， U_d 为横向偏移变化趋势控制量； K_p 为横向偏移控制系数， K_d 为横向偏移变化趋势控制系数； D_c 为当前获取的横向偏移量， D_p 为上一次获取的横向偏移量； T_s 为系统采样控制周期， ΔT 为磁传感器阵列相邻状态变化时间间隔。

本公开还提供一种非易失性存储介质，存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令设置为执行上述的变电站巡检机器人导航控制方法。

本公开还提供一种计算机程序产品，所述计算机程序产品包括存储在非易失性计算机可读存储介质上的计算机程序，所述计算机程序包括程序指令，当所述程序指令被计算机执行时，使所述计算机执行上述的变电站巡检机器人导航控制方法。

另一方面，本公开还提供一种电子设备，包括至少一个处理器和与至少一个处理器通信连接的存储器，所述存储器用于存储可被所述至少一个处理器执行的指令，所述指令被所述至少一个处理器执行时，使所述至少一个处理

器执行上述的变电站巡检机器人导航控制方法。

本公开的有益效果为：

(1)通过在导航控制策略内引入横向偏移误差变化趋势信息，相当于在导航控制系统内引入了“微分”环节，因此可以实现导航控制系统对机器人运动导致的横向偏移变化趋势进行预测并提前进行调整，改善原有导航控制系统中存在的导航控制输出滞后对系统稳定性造成的影响，提升机器人运行的稳定性。

(2)通过磁传感器阵列标定，对不同磁传感器阵列状态代表的横向偏差进行量化处理，在前述获得横向偏差和横向偏差变化趋势信息基础上，巡检机器人导航控制也可很方便的采用其它控制策略(如模糊控制等)实现，从而在不对现有巡检机器人导航控制系统做大幅改变的前提下，为后续机器人导航控制性能的进一步提升奠定了必要的基础。

(3)导航控制系统性能调试时，只需调整横向偏移控制系数和横向偏移变化趋势控制系数，与原有导航系统需要对每个传感器阵列状态调整并设定控制量输出值相比，降低了系统性能调试的难度。

附图说明

图1为本公开的导航控制系统结构示意图；

图2为本公开的导航系统运行流程图；

图3为本公开的磁传感器阵列标定示意图；

图4为本公开的导航控制原理框图；

图5为本公开的的电子设备的结构框图。

具体实施方式

下面结合附图与实施例对本公开作进一步说明。

如图 1 所示，一种变电站巡检机器人导航控制系统，包括：磁传感器阵列、阵列状态处理模块、导航控制模块和运动控制模块。各模块的硬件连接关系为：首先磁传感器阵列以数字开关量输出方式与阵列状态处理模块连接，之后阵列状态处理模块则利用数字通讯方式与导航控制模块连接，最后导航控制模块也通过数字通讯方式连接运动控制模块。另外，运动控制模块内又包含了电机驱动器与车轮驱动电机。

磁传感器阵列、导航控制模块和运动控制模块均为现有巡检机器人中已经存在的模块，主要区别是导航控制模块内包含的导航策略与现有机器人导航控制策略不同；阵列状态处理模块位于磁传感器阵列和导航控制模块之间，将得到磁传感器阵列状态所对应的横向偏移量以及状态变化时间间隔发送至导航控制模块，供机器人导航控制使用。

如图 2 所示，在上述导航控制系统的基础上，提出了巡检机器人导航控制方法，其控制流程，包括以下步骤：

步骤 1 机器人导航运行开始时，初始化系统内各模块，同时载入磁传感器阵列标定信息；

步骤 2 机器人导航运行过程中，阵列状态处理模块采集传感器阵列状态输出，并与传感器标定信息进行比较，得到当前磁传感器阵列中心相对于磁轨迹的横向偏移量 D_c 。在此过程中，阵列状态处理模块还负责在传感器阵列状态改变时测量状态改变之间的时间间隔 ΔT ；

步骤 3 导航控制模块综合利用阵列状态处理模块得到的当前横向偏移量 D_c 和状态改变时间间隔 ΔT ，计算得到导航控制量 u ，并发送至运动控制模块执行。

所述步骤 1 中，磁传感器阵列标定信息是在机器人导航运行前，通过执行

传感器标定步骤得到, 进行标定的主要目的则是为了将各传感器阵列状态所代表的横向偏移量进行定量描述, 以便后续导航控制使用。

如图 3 所示, 具体的磁传感器阵列标定的方法为: 首先将机器人静止放置于水平面上, 使标定用磁轨迹至于磁传感器一侧水平面; 由于磁传感器阵列中传感器一般沿垂直于机器人运行方向排列, 标定时需面向机器人运行的反方向, 从传感器阵列的左外侧向右外侧沿水平面滑动, 此过程中, 将磁传感器阵列中首次检测到磁轨迹的位置设为零点, 之后每当磁传感器阵列状态变化就记录当时磁轨迹位置与零点之间的距离, 直至磁轨迹从右端滑出为止; 最后, 求标定过程得到距离数值的均值, 再将以上距离值与该均值相减, 从而得到传感器阵列每个状态所代表的横向偏移量。

所述步骤 2 中, 测量传感器阵列状态改变时间间隔步骤为:

步骤 2-1 磁传感器阵列检测到磁轨迹时, 阵列状态处理模块计时器清零, 并开始计时;

步骤 2-2 当磁传感器阵列输出状态变化, 则读取当前计时器值 T_c , 如果在计时器允许最大计时时间 T_{max} 内, 当前读出值 T_c 即为相邻状态变化时间间隔 ΔT , 否则将相邻状态变化时间间隔 ΔT 修正为计时器允许最大计时值 T_{max} ;

步骤 2-3 清零计时器, 并开始下一次状态变化时间间隔测量计时。

如图 4 所示, 步骤 3 中导航控制量的具体计算步骤如下:

步骤 3-1 将从阵列状态处理模块得到的当前横向偏移量 D_c 与系数 K_p 相乘, 得到横向偏移控制量 U_p ;

步骤 3-2 将当前横向偏移量 D_c 和上一次获取的横向偏移量 D_p 相减, 得到横向偏移变化量, 之后该变化量再乘以采样控制周期 T_s 与状态变化时间间隔 ΔT 之商, 从而得到横向偏移变化趋势值, 最后该趋势值乘以系数 K_d , 得到横向

偏移变化趋势控制量 U_d ;

步骤 3-3 将上述横向偏移控制量 U_p 与横向偏移变化趋势控制量 U_d 相加,即可得到最终的导航控制量 U ,其完整计算公式如下所示:

$$U = U_p + U_d = K_p * D_c + K_d * (D_c - D_p) * (T_s / \Delta T)$$

其中: U_p 为横向偏移控制量, U_d 为横向偏移变化趋势控制量; K_p 为横向偏移控制系数, K_d 为横向偏移变化趋势控制系数; D_c 为当前获取的横向偏移量, D_p 为上一次获取的横向偏移量; T_s 为系统采样控制周期, ΔT 为磁传感器阵列相邻状态变化时间间隔。

本公开还提供了一种计算机可读存储介质, 存储有计算机可执行指令, 所述计算机可执行指令设置为执行上述实施例的变电站巡检机器人导航控制方法。

本公开还提供了一种计算机程序产品, 所述计算机程序产品包括可存储在计算机可读存储介质上的计算机程序, 所述计算机程序包括程序指令, 当所述程序指令被计算机执行时, 使所述计算机执行上述实施例的变电站巡检机器人导航控制方法。

本公开还提供了一种电子设备。图5是本公开实施例提供的电子设备的结构框图。该电子设备可以包括: 处理器(processor)51和存储器(memory)53, 还可以包括通信接口(Communications Interface)52和总线54。其中, 处理器51、通信接口52、存储器53可以通过总线54完成相互间的通信。通信接口52可以用于信息传输。处理器51可以调用存储器53中的逻辑指令, 以执行上述实施例的应用程序控制方法。

此外, 上述的存储器53中的逻辑指令可以通过软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用, 可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基

于这样的理解，本公开的技术方案可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备等）执行本公开各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质可以是非暂态存储介质，包括：U盘、移动硬盘、只读存储器（ROM，Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM，Random Access Memory）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质，也可以是暂态存储介质。

上述虽然结合附图对本公开的具体实施方式进行了描述，但并非对本公开保护范围的限制，所属领域技术人员应该明白，在本公开的技术方案的基础上，本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本公开的保护范围以内。

工业实用性

本公开的变电站巡检机器人导航控制系统及方法，实现对机器人运动导致的横向偏移变化趋势进行预测并提前进行调整，改善导航控制系统中存在的导航控制输出滞后对系统稳定性造成的影响，提升机器人运行的稳定性。

权利要求书

1、一种变电站巡检机器人导航控制系统，包括：磁传感器阵列、阵列状态处理模块、导航控制模块和运动控制模块，

其中，所述磁传感器阵列，采集实际横向偏移量，将传感器阵列标定信息传输给阵列状态处理模块；

所述阵列状态处理模块，连接磁传感器阵列和导航控制模块，设置为依据磁传感器阵列标定信息，得到磁传感器阵列状态所对应的横向偏移量以及状态变化时间间隔，之后发送至导航控制模块；

所述导航控制模块，设置为利用当前横向偏移量和状态改变时间间隔，计算导航控制量发送至运动控制模块；

所述运动控制模块执行导航控制模块的导航指令，控制巡检机器人的运动。

2、如权利要求1所述的一种变电站巡检机器人导航控制系统，其中，所述磁传感器阵列以数字开关量输出方式与阵列状态处理模块连接，阵列状态处理模块则利用数字通讯方式与导航控制模块连接，导航控制模块也通过数字通讯方式连接运动控制模块。

3、一种变电站巡检机器人导航控制方法，包括：

机器人导航运行开始时，进行初始化，同时载入磁传感器阵列标定信息；

机器人导航运行过程中，阵列状态处理模块采集传感器阵列状态输出，与传感器阵列标定信息进行比较，得到当前磁传感器阵列中心相对于磁轨迹的横向偏移量，阵列状态处理模块在传感器阵列状态改变时测量状态改变之间的时间间隔；

导航控制模块综合利用阵列状态处理模块得到的当前横向偏移量和状态改变时间间隔，计算得到导航控制量并发送至运动控制模块执行。

4、如权利要求3所述的变电站巡检机器人导航控制方法，还包括：在机器人导航运行前，通过执行传感器标定步骤得到磁传感器阵列标定信息，所述磁

传感器阵列标定信息包括各传感器阵列状态所代表的横向偏移量。

5、如权利要求4所述的变电站巡检机器人导航控制方法，其中，通过执行传感器标定步骤得到磁传感器阵列标定信息的步骤包括：将机器人静止放置于水平面上，使磁轨迹置于磁传感器一侧水平面；磁传感器阵列中传感器沿垂直于机器人运行方向排列，标定时需面向机器人运行的反方向，从传感器阵列的左外侧向右外侧沿水平面滑动，滑动过程中，将磁传感器阵列中首次检测到磁轨迹的位置设为零点，之后每当磁传感器阵列状态变化时记录当前磁轨迹位置与零点之间的距离，直至磁轨迹从右端滑出为止；求标定过程得到距离值的均值，再将以上距离值与该均值相减，得到传感器阵列每个状态所代表的横向偏移量。

6、如权利要求3所述的变电站巡检机器人导航控制方法，其中，测量传感器阵列状态改变时间间隔步骤包括：

磁传感器阵列检测到磁轨迹时，阵列状态处理模块计时器清零，并开始计时；

当磁传感器阵列输出状态变化，则读取当前计时器值 T_c ，如果在计时器允许最大计时时间 T_{max} 内，当前读出值 T_c 即为相邻状态变化时间间隔 ΔT ，否则将相邻状态变化时间间隔 ΔT 修正为计时器允许最大计时值 T_{max} ；

清零计时器，并开始下一次状态变化时间间隔测量计时。

7、如权利要求3所述的变电站巡检机器人导航控制方法，其中，计算得到导航控制量包括：

将从阵列状态处理模块得到的当前横向偏移量 D_c 与系数 K_p 相乘，得到横向偏移控制量 U_p ；

将当前横向偏移量 D_c 和上一次获取的横向偏移量 D_p 相减，得到横向偏移变化量，之后该变化量再乘以采样控制周期 T_s 与阵列状态变化时间间隔 ΔT 之商，从而得到横向偏移变化趋势值，该趋势值乘以系数 K_d ，得到横向偏移变化

趋势控制量 U_d ;

横向偏移控制量 U_p 与横向偏移变化趋势控制量 U_d 相加, 即可得到最终的导航控制量 U 。

8、如权利要求 7 所述的变电站巡检机器人导航控制方法, 其中, 最终的导航控制量 U 的计算公式为:

$$U = U_p + U_d = K_p * D_c + K_d * (D_c - D_p) * (T_s / \Delta T)$$

其中: U_p 为横向偏移控制量, U_d 为横向偏移变化趋势控制量; K_p 为横向偏移控制系数, K_d 为横向偏移变化趋势控制系数; D_c 为当前获取的横向偏移量, D_p 为上一次获取的横向偏移量; T_s 为系统采样控制周期, ΔT 为磁传感器阵列相邻状态变化时间间隔。

9、如权利要求 5 所述的变电站巡检机器人导航控制方法, 其中, 所述磁传感器阵列状态为磁传感器阵列输出数字量。

10、一种非易失性存储介质, 存储有计算机可执行指令, 所述计算机可执行指令设置为执行权利要求 3-8 任一项所述的变电站巡检机器人导航控制方法。

11、一种计算机程序产品, 所述计算机程序产品包括存储在非易失性计算机可读存储介质上的计算机程序, 所述计算机程序包括程序指令, 当所述程序指令被计算机执行时, 使所述计算机执行权利要求 3-8 任一项所述的变电站巡检机器人导航控制方法。

12、一种电子设备, 包括至少一个处理器和与所述至少一个处理器通信连接的存储器, 所述存储器用于存储可被所述至少一个处理器执行的指令, 所述指令被所述至少一个处理器执行时, 使所述至少一个处理器执行权利要求 3-8 任一项所述的变电站巡检机器人导航控制方法。

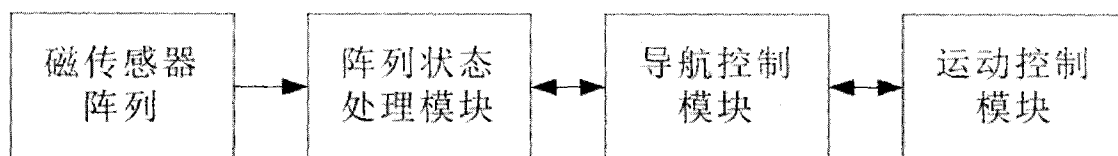


图 1

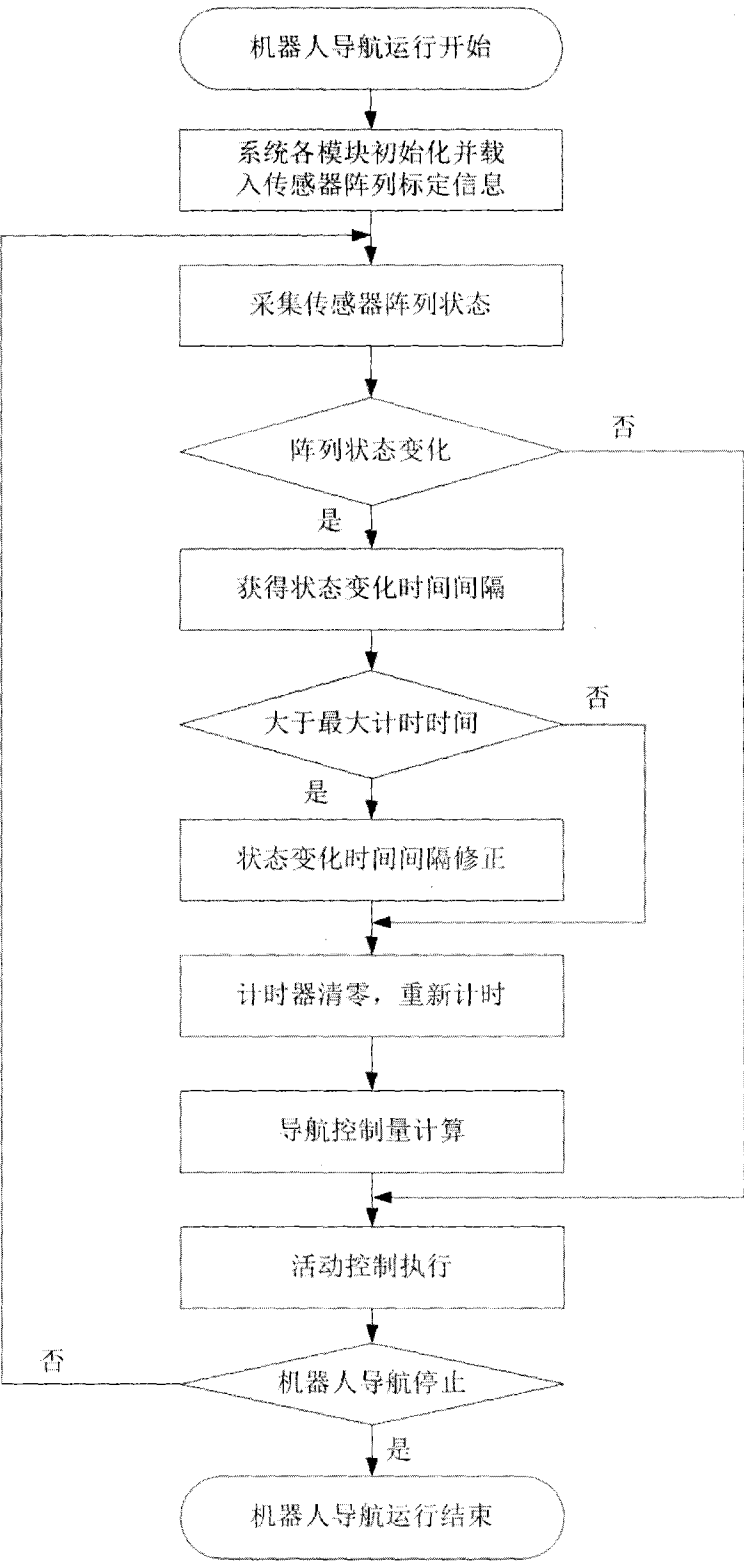


图 2

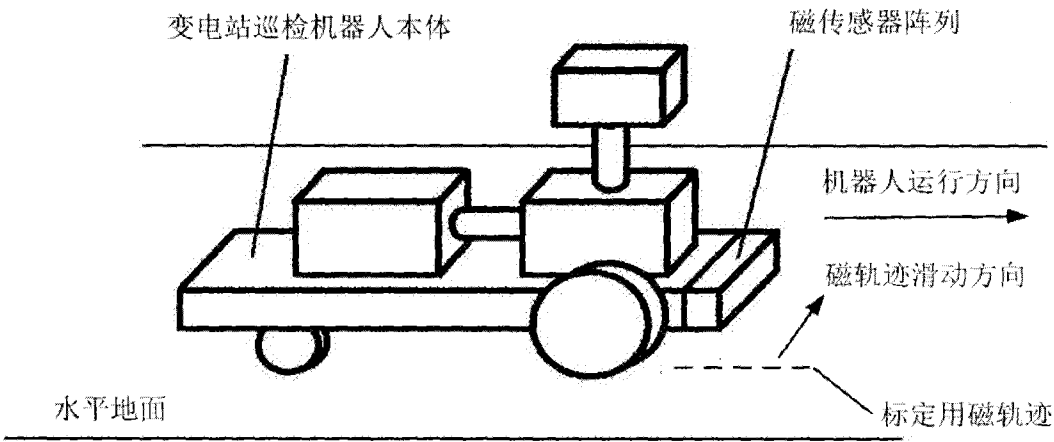


图 3

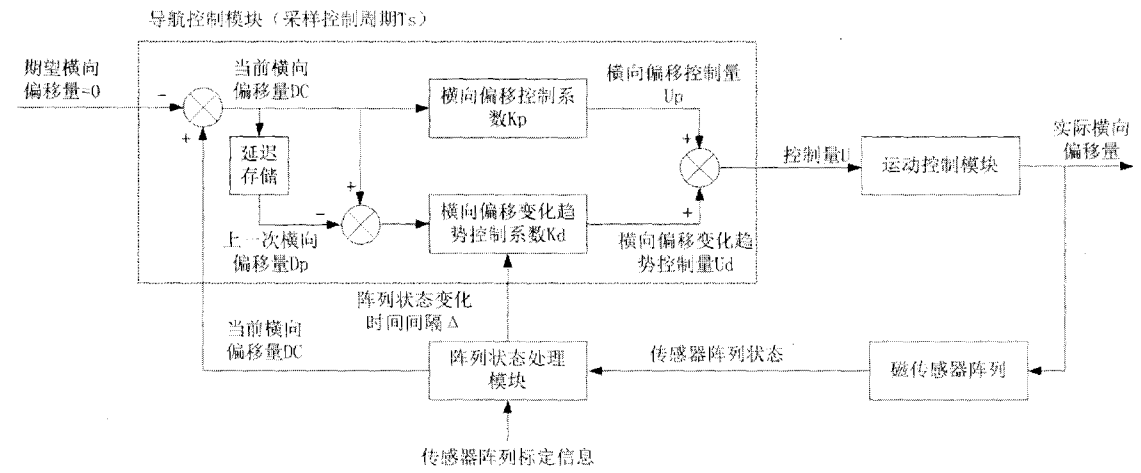


图 4

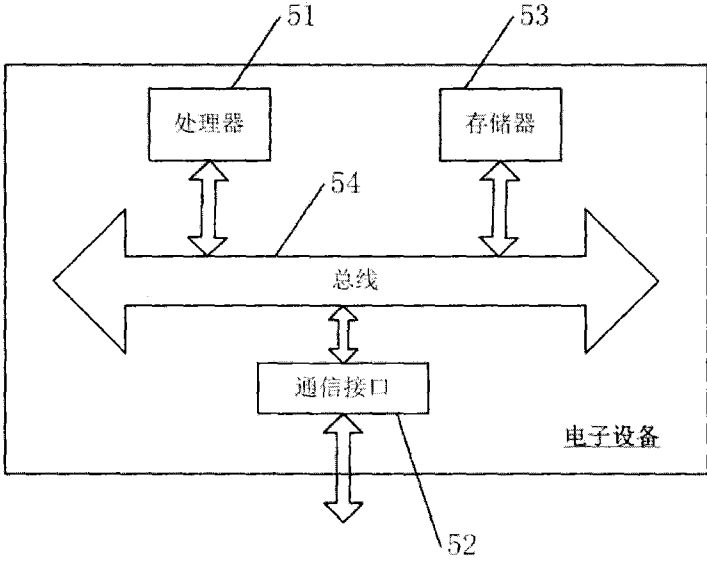


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/093788

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05D 1/02 (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)

G05D

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, CNKI, WPI, EPODOC: 巡检, 巡逻, 车, 机器人, 变电站, 电网, 磁传感器, 阵列, 处理, 导航, 导引, 控制, 运动, 偏移, 偏离, 偏差, 横向, 标定, 时间, 间隔, 时差, 时间差, 数字, 比较, 控制量, 比例, 积分, 微分, 距离, 轨迹, 减, 差, 计时, 周期, 系数, 变化, 率, 趋势, 国网山东省电力公司电力科学研究院, 山东鲁能, 肖鹏, patrol, cruise, vehicle, robot, transformer, magnetic, sensor, array, process, navigation, control, offset, demarcate, time, interval, difference, digital, compare, PID, differential, distance, track, subtract, time, period, cycle, coefficient, change, vary, STATE GRID, LUNENG, XIAO Peng

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 106292664 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE OF STATE GRID SHANGDONG ELECTRIC POWER COMPANY et al.), 04 January 2017 (04.01.2017), claims 1-8, description, paragraphs [0001]-[0037] and [0043]-[0060], and figures 1-4	1-12
Y	CN 103292806 A (CHENGDU SIWEI HIGH TECHNOLOGY INDUSTRIAL PARK CO., LTD.), 11 September 2013 (11.09.2013), description, paragraphs [0001]-[0007] and [0012]-[0040], and figures 1 and 2	1-12
Y	CN 203643844 U (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 11 June 2014 (11.06.2014), description, paragraphs [0001]-[0028], and figures 1-4	1-12
A	CN 202205099 U (SHANDONG LUNENG INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.), 25 April 2012 (25.04.2012), entire document	1-12
A	CN 102269995 A (CHONGQING UNIVERSITY), 07 December 2011 (07.12.2011), entire document	1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 01 September 2017	Date of mailing of the international search report 25 October 2017
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer MU, Feipeng Telephone No.: (86-10) 62414353

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/093788

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105180934 A (CHENGDU SIWEI HIGH TECHNOLOGY INDUSTRIAL PARK CO., LTD.), 23 December 2015 (23.12.2015), entire document	1-12
A	CN 104898665 A (SHANDONG JIANZHU UNIVERSITY), 09 September 2015 (09.09.2015), entire document	1-12
A	JP 2002189519 A (MITSUBISHI HEAVY IND. LTD.), 05 July 2002 (05.07.2002), entire document	1-12

International application No.
PCT/CN2017/093788

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/093788

A. 主题的分类

G05D 1/02 (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)

G05D

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, CNKI, WPI, EPODOC: 巡检, 巡逻, 车, 机器人, 变电站, 电网, 磁传感器, 阵列, 处理, 导航, 导引, 控制, 运动, 偏移, 偏离, 偏差, 横向, 标定, 时间, 间隔, 时差, 时间差, 数字, 比较, 控制量, 比例, 积分, 微分, 距离, 轨迹, 减, 差, 计时, 周期, 系数, 变化, 率, 趋势, 国网山东省电力公司电力科学研究院, 山东鲁能, 肖鹏, patrol, cruise, vehicle, robot, transformer, magnetic, sensor, array, process, navigation, control, offset, demarcate, time, interval, difference, digital, compare, PID, differential, distance, track, subtract, time, period, cycle, coefficient, change, vary, STATE GRID, LUNENG, XIAO Peng

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 106292664 A (国网山东省电力公司电力科学研究院 等) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 权利要求1-8、说明书第[0001]-[0037], [0043]-[0060]段和图1-4	1-12
Y	CN 103292806 A (成都四威高科技产业园有限公司) 2013年 9月 11日 (2013 - 09 - 11) 说明书第[0001]-[0007], [0012]-[0040]段和图1-2	1-12
Y	CN 203643844 U (北京工业大学) 2014年 6月 11日 (2014 - 06 - 11) 说明书第[0001]-[0028]段和图1-4	1-12
A	CN 202205099 U (山东鲁能智能技术有限公司) 2012年 4月 25日 (2012 - 04 - 25) 全文	1-12
A	CN 102269995 A (重庆大学) 2011年 12月 7日 (2011 - 12 - 07) 全文	1-12

☒ 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)

“Q” 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

2017年 9月 1日

国际检索报告邮寄日期

2017年 10月 25日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10) 62019451

授权官员

穆飞鹏

电话号码 (86-10) 62414353

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	CN 105180934 A (成都四威高科技产业园有限公司) 2015年 12月 23日 (2015 - 12 - 23) 全文	1-12
A	CN 104898665 A (山东建筑大学) 2015年 9月 9日 (2015 - 09 - 09) 全文	1-12
A	JP 2002189519 A (MITSUBISHI HEAVY IND. LTD.) 2002年 7月 5日 (2002 - 07 - 05) 全文	1-12

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/093788

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	106292664	A	2017年 1月 4日	无			
CN	103292806	A	2013年 9月 11日	CN	103292806	B	2015年 8月 19日
CN	203643844	U	2014年 6月 11日	无			
CN	202205099	U	2012年 4月 25日	无			
CN	102269995	A	2011年 12月 7日	CN	102269995	B	2013年 9月 25日
CN	105180934	A	2015年 12月 23日	无			
CN	104898665	A	2015年 9月 9日	无			
JP	2002189519	A	2002年 7月 5日	无			