

基于 D-H 参数的爬壁机器人吸附控制系统设计

高永香¹, 贾 琼¹, 苏云峰², 刘晨婧¹

(1. 沈阳工学院 信息与控制学院, 辽宁 抚顺 113122;

2. 东软教育科技集团, 沈阳 110179)

摘要: 传统爬壁机器人吸附参量存在同步不对称的问题, 导致爬壁机器人吸附控制系统输出控制量精度降低, 影响机器人整体控制效果; 为了解决爬壁机器人吸附参量不对称问题, 提出基于 D-H 参数的爬壁机器人吸附控制系统设计; 基于 D-H 参数特点, 设计系统总体框架, 框架共分为硬件与软件两部分; 硬件主要利用动态陀螺仪控制器控制处理指令数据, 完成处理模块设计; 通过无线控制传感器 KJ-F6000X-T6 实现控制模块设计; 软件部分采用与 D-H 参数相关的算法对控制程序进行设计; 通过实验对比数据表明: 提出设计系统具有同步爬壁机器人吸附参量对称性, 单次控制量、双次控制量、多次控制量系数分别为 0.7、0.6、0.5, 符合控制系数标准范围, 能够提升系统控制量输出精度。

关键词: 基于 D-H 参数; 爬壁机器人; 吸附控制; 控制系统

Design of Adsorption Control System of Wall-climbing Robot Based on D-H Parameters

GAO Yongxiang¹, JIA Qiong¹, SU Yunfeng², LIU Chenjing¹

(1. School of Information and Control, Shenyang Institute of Technology, Fushun 113122, China;

2. Neusoft Educational Technology Group, Shenyang 110179, China)

Abstract: The adsorption parameters of traditional wall-climbing robots have the problem of synchronization asymmetry, which leads to a decrease in the accuracy of output control of the adsorption control system of wall-climbing robots, which affects the overall control effect of the robot. In order to solve the problem of asymmetry of the adsorption parameters of the wall-climbing robot, a design of the adsorption control system of the wall-climbing robot based on D-H parameters is proposed. Based on the characteristics of DH parameters, the overall framework of the system is designed. The framework is divided into two parts: hardware and software; the hardware mainly uses the dynamic gyroscope controller to control the processing instruction data to complete the processing module design; realize the control modular design through the wireless control remote sensor KJ-F6000X-T6. The software part uses algorithms related to D-H parameters to design the control program. The experimental comparison data shows that the proposed design system has the symmetry of the adsorption parameters of the synchronous wall-climbing robot. The coefficients of the single control quantity, the double control quantity and the multiple control quantity are 0.7, 0.6 and 0.5 respectively, which meet the standard range of the control coefficient and system control output accuracy can be improved.

Keywords: based on D-H parameters; wall-climbing robot; adsorption control; control system

0 引言

随着机器人技术的不断发展, 多类别机器人已经应用于工业、农业、安防、消防等多个领域, 极大程度降低了人员劳动力输出, 提升了单位时间下的工作效率。一些特殊高危作业环境, 机器人的应用最大化保障了人员作业安全, 降低作业风险。

在诸多机器人中, 爬壁机器人是近几年新兴的机器人。利用真空吸附原理, 配合当下网络智能控制技术, 使爬壁机器人能够适应不同作业环境。其中爬壁过程中吸附控制的精准度, 直接决定着爬壁机器人的爬壁性能。因此爬壁机器人吸附控制系统控制量必须满足较高的精度。通过对当下系统控制量分析发现, 传统爬壁机器人控制系统针对

吸附控制的精度普遍存在误差, 究其原因, 主要由反馈数据与控制数据之间变量在同步过程中出现数据不对称所导致。解决控制数据的同步对称问题是提升控制系统的核心。通过对 D-H 参量的研究发现, 基于 D-H 参量的控制数据, 具有较高的数据同步对称性^[1], 因此提出基于 D-H 参数的爬壁机器人吸附控制系统设计, 通过设计基于 D-H 参数的硬件与软件, 完成对控制数据的同步对称优化, 提升控制精度。

1 基于 D-H 参数的爬壁机器人吸附控制系统整体框架设计

基于 D-H 参数的爬壁机器人吸附控制系统整体框架设计如图 1 所示, 总共分为两个部分:

收稿日期: 2020-12-24; 修回日期: 2021-02-04。

作者简介: 高永香(1979-), 女, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 副教授, 主要从事人工智能, 智能科学与技术方向的研究。

引用格式: 高永香, 贾 琼, 苏云峰, 等. 基于 D-H 参数的爬壁机器人吸附控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(8): 95-98, 103.

1) 控制参量的 D-H 参量分析计算硬件部分, 主要用于爬壁机器人吸附控制的 D-H 参量相关数据的分析计算。其中主要通过基于 D-H 参量设计生产的相关器件组合, 实现对机器人行进过程中全局轴线数据的测量, 结合硬件 TCP 中心数据工具, 完成对机器人吸附行进过程中不同硬件传感器数据的汇总, 形成可引导后续 D-H 参数模型计算的拟合数据平台。

2) 基于 D-H 参量的控制变量计算程序, 即系统的软件部分。其中根据软件实现功能的不同, 可分为爬壁机器人吸附参数同步对称程序与控制精度优化程序。通过对硬件平台拟合数据的分析计算和对机器人 TCS 固定矩阵数据的变换, 获得机器人拟合形态下的非线性运动曲线, 通过 D-H 参数将其运动模型量坐标映射于控制接口之上, 实现不同传感器之间数据的实时交互, 保证不同运动轴数据与 D-H 参量的耦合性, 从而获得最优的、连续、完整的控制输出量。

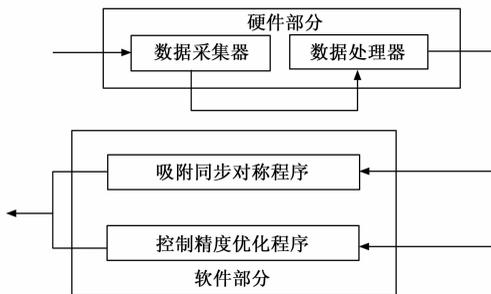


图 1 基于 D-H 参数的爬壁机器人吸附控制系统整体框架设计示意图

2 爬壁机器人吸附控制系统硬件设计

所设计爬壁机器人吸附控制系统硬件, 包括处理模块及遥感控制模块, 处理模块以 S6C4500 中央微型控制器为核心, 完成处理模块功能的实现, 遥感控制模块通过八向无线控制遥控器 KJ-F6000X-T6 实现机器人运动控制, 完成爬壁机器人吸附控制系统硬件设计。

2.1 处理模块设计

根据上述系统整体设计框架中硬件设计方案, 结合当下爬壁机器人吸附控制系统存在的控制问题, 从设计硬件层全局入手对硬件进行设计。硬件设计共分为两部分, 分别负责参数处理与数据控制。

负责参数处理的硬件处理模块, 其设计结构主要包括: 基于 ARM11 架构^[2]的 S6C4500 中央微型控制器以相关功能的外部电路、DT46C1050 无线通信网卡及动态陀螺仪控制器。

处理模块设计充分考虑到爬壁机器人在吸附过程中的数据处理量特点, 针对数据量基数大, 并发同步性强的刚性条件做了针对性设计。采用基于 ARM11 架构的 S6C4500 中央微型控制器作为硬件结构的核心处理主控, 支持对 D-H 参数的多路数据同步拟态, 能够对爬壁机器人吸附过程

中的全局数据进行实时稳定处理。通过 S6C4500 中央微型控制器内部集成的基于 D-H 参数采集 A/D 编码器, 能够瞬态将机器人姿态数据、压力数据、位置数据、气压数据等不同传感器收集的数据进行模拟信号的数字化拟态处理, 通过 DT46C1050 无线通信网卡高速交互信道, 将处理指令数据出送至动态陀螺仪控制器, 完成对机器人吸附姿态等控制变量的控制操作, 保证控制的实时性与可靠性。

处理模块结构设计如图 2 所示。

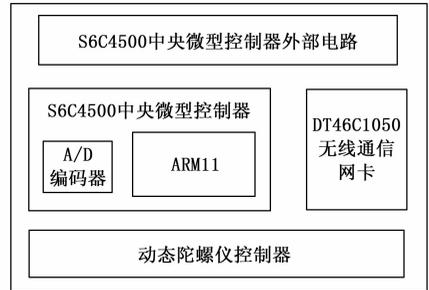


图 2 处理模块功能实现过程原理

处理模块功能实现过程原理如图 3 所示。

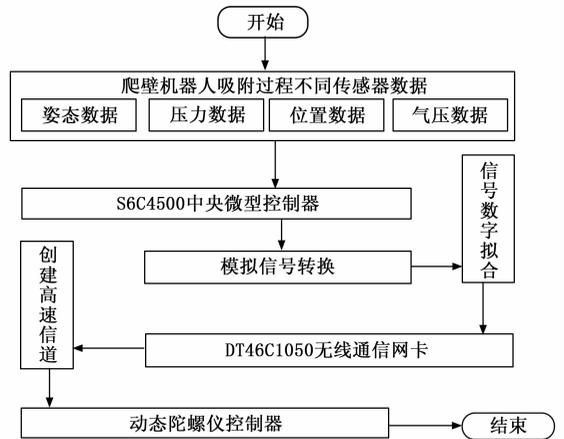


图 3 处理模块功能实现过程原理

总体来说, 处理模块能够对爬壁机器人吸附控制过程中的数据同步的对称性与实时性进行保障。

2.2 遥感控制模块设计

遥感控制模块设计采用支持 D-H 参数控制数据的八向无线控制遥控器 KJ-F6000X-T6。能够对爬壁机器人吸附过程中前、后、左、右、左前方、右前方、左后方、右后方以及吸附压力增加与减小进行控制。

遥感控制模块设计数据的传感器内部集成了一个基于 D-H 参数计算的 MUC 与 4 个 15 kΩ 的触控变阻器以及一个无线射频信号发生器。设计硬件控制实现过程如下: 当触控变阻器感应到电路电压时, 触控区域电压值会根据传感器控制方向变化而发生改变, 通过电压值改变系数所对应的控制指令集, 完成 MUC 控制机构对指令的发送。根据爬壁机器人运动过程中吸附数据的变化, 通过控制吸附马达工作功率, 调整机器人行进速度, 配合方向控制, 完成爬

壁机器人的运动操作。遥感控制模块驱动电路如图 4 所示。

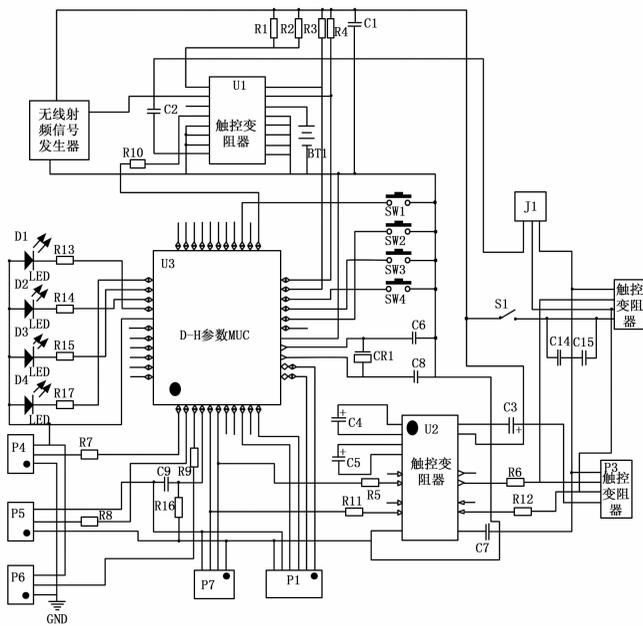


图 4 遥感控制模块驱动电路

3 基于 D-H 参数的爬壁机器人吸附控制系统软件

3.1 基于 D-H 参数的吸附同步对称程序设计

完成硬件设计后, 根据设计硬件性能对其进行软件程序适配设计。软件程序设计根据硬件功能划分, 对应分为两部分, 首先为基于 D-H 参数的吸附同步对称程序的设计。程序基于 D-H 参量的空间对称控制特征, 对机器人吸附过程中的空间坐标量进行同步协调, 利用笛卡尔空间坐标控制量映射, 完成吸附同步过程中的参量对称优化。软件功能实现的具体流程如下:

在机器人吸附过程中, 将此状态下的 X_1 、 Y_1 设置为机器人 D-H 参量的初始坐标系数参量。将机器人控制遥感器的控制数据映射于 MUC D-H 参量的速度量。

根据速度运动模型可知, 机器人在吸附运动过程中, 行进坐标数据在卡迪尔空间^[3-6]所对应的 X_1 与 Y_1 方向上的速度量可通过计算获得, 在此情况下机器人吸附行进的不同位置上传感器反馈数据 K_2 、 K_3 与 K_4 的同步对称情况可分为 2 种情况:

1) 机器人吸附腔体内气塞的抬起与放下。如图 5 (a) 所示, 当 D_1 代表吸附气塞受力点时, 换气塞 D_2 向上抬起, 若此时 D_2 代表吸附气塞受力点, 如图 5 (b) 所示, 可知此时的换气塞 D_1 的控制运动方向为向下运动。受力气塞与换气塞数据不同步时, 相同的作用效果, 会促使换气塞在 Y_1 方向上形成反方向运行效果。为了保证控制遥感器触控方向控制轴数据与机器人运动数据映射结果不受力气塞数据不同的影响, 当 D_1 代表吸附气塞受力点时, $y \rightarrow b_y$; 当 D_2 为吸附气塞受力点时, $y \rightarrow -b_y$ 。其中, y 代表触控方向控制轴 y 轴的值, b_y 代表机器人换气塞沿 Y_1 方向活动频率, 箭头代表映射标签。

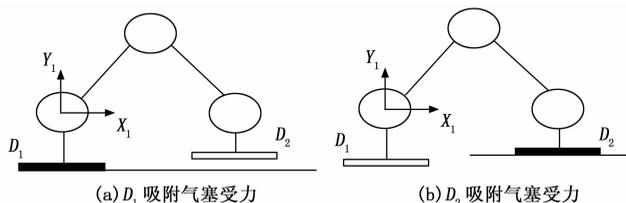


图 5 吸附气塞吸附数据同步过程

2) 爬壁机器人移动数据同步。如图 6 所示, 若 D_1 或 D_2 代表吸附气塞受力点, 坐标点正向位移代表机器人前进, 坐标点正向位移代表机器人后退, 遥感器触控方向控制轴数据与机器人运动数据映射结果为: $x \rightarrow b_x$, 其中, x 代表触控方向控制轴 x 轴的值, b_x 代表机器人换气塞沿 X_1 方向活动频率。

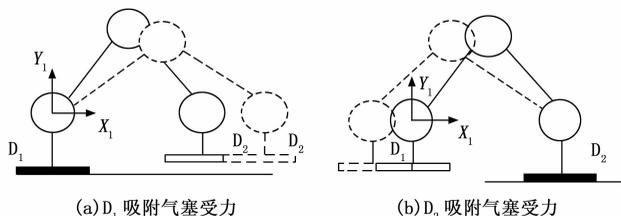


图 6 吸附气塞移动数据同步过程

3.2 基于 D-H 参数的控制程序设计

完成爬机器人数据同步程序设计后, 对同步后的控制量进行数据精度控制程序设计。设计同样采用基于 D-H 参量的拟合控制算法作为程序设计核心。结合机械力学与运动力学, 对爬机器人吸附过程中的数据控制量进行机械量拆分, 利用 D-H 参量控制模型对差分量进行小范围精度优化, 最终将多个优化精度量拟合, 获得高精度的控制输出量。

基于上述设计思想, 对基于 D-H 参数的控制程序设计功能实现原理, 做如下详细描述。

设计程序中构建的控制机轮模型如图 7 (a) 所示, 核心主驱动臂带动从机轮沿牵动臂运动方向往复运动, 再次控模型中, 运动控制量形成一个闭环数据链。控制模型映射于爬壁机器人相关器件的运动过程如图 7 (b) 所示。

在程序设计中, 主要工作机制是对机器人控制机轮组信号进行控制, 通过对其中的直齿齿轮表面摩擦系数进行过滤, 获得动力机轮工作面上的反向动力数据。根据机轮接触面积对机器人输出控制量精度优化阈值进行动态设定。当机轮接触面对应的摩擦系数较小时, 其产生的影响效果可忽略不计^[7-9]。当机轮组接触面满足了啮合切角大于预设角度时, 此时仅对切角形成方向上的切向力 f_r 进行计算。设计程序对此状态下的控制量精度优化范围进行取值, 采用基于运动等效的 D-H 参量, 将整体控制变量分为机轮变量控制量与封闭数据链控制量两部分, 如图 7 (c)、(d) 所示。

在程序设计中, 为了保证程序能够有效保留切向力 f_r 数据对控制量输出范围的约束作用^[10-12], 设计将切向力的

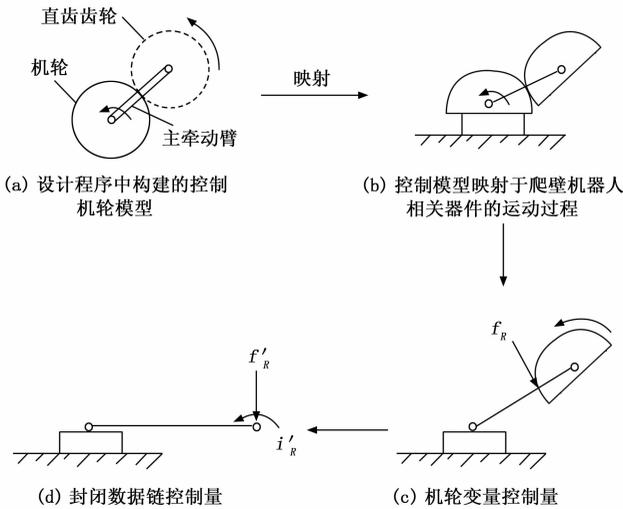


图 7 基于 D-H 参数的控制程序对机器人机轮组信号控制原理

方向坐标进行平移修正, 获得新的切向力 f'_R , 增强其对输出控制量范围 i'_R 的控制能力。

当处于封闭数据链控制状态时, 受到垂直负压参量变化的影响, 控制机轮牵引臂带动数据会增大^[13-15], 因此需要在原有控制变量数据的基础上, 引入垂直负压参量进行综合控制量输出精度阈值分析, 获得引入垂直负压参量后的控制量。

4 实验结果与分析

对设计的基于 D-H 参数的爬壁机器人吸附控制系统对输出量控制精度进行对比实验。

4.1 实验配置

为了保证实验数据的客观性, 实验将采用传统基于 PLC 技术的控制系统与基于分布式技术的控制系统两种传统控制系统进行数据对比。实验步骤如下:

在相同实验环境下, 设计系统将分别同两种传统控制系统进行控制精度对比实验。测试过程中, 接受测试的系统会对设定好的爬壁机器人吸附动作进行控制, 并对控制过程中的指令控制数据日志键值进行对比, 根据键值指标, 综合量种系统下设计系统的对比数据做出测试结论。

4.2 设计系统与传统基于 PLC 技术的控制系统对比数据

对设计系统与传统基于 PLC 技术的控制系统进行控制精度实验, 实验结果如表 1 所示。

通过对比表 2 实验结果发现, 提出的设计系统各项控制参量系数均在标准范围之内, 且由于传统基于 PLC 技术的控制系统控制参量; 从数值大小可以看出, 提出的设计的系统控制精度明显优于传统基于 PLC 技术的控制系统控制参量系数值。因此, 此次实验设计系统符合提升控制精度设计标准。

4.3 设计系统与传统基于分布式技术的控制系统对比数据

基于上述测试环境, 对设计系统与传统基于分布式技术的控制系统进行控制精度实验, 实验结果如表 2 所示。

表 1 设计系统与传统基于 PLC 技术的控制系统

控制精度实验结果

指令控制数据 日志键值项	控制系数		控制系数 标准范围
	设计系统	PLC 技术的 控制系统	
单次控制量系数	0.7	2	0.3~1.2
二次控制量系数	0.6	2.4	0.5~1
多次控制量系数	0.5	3.7	0.5~2
传感节点控制量系数	0.6	2.1	0.3~1.8
吸附压力控制系数	1	3.8	0.5~1.5
移动坐标指令控制系数	0.4	4	0.1~0.5
综合指令数据控制系数	1.5	3.4	1.2~2

表 2 设计系统与传统基于分布式技术的控制系统

控制精度实验结果

指令控制数据 日志键值项	控制系数		控制系数 标准范围
	设计系统	分布式技术 的控制系统	
单次控制量系数	0.7	1.6	0.3~1.2
二次控制量系数	0.6	1.8	0.5~1
多次控制量系数	0.5	2.6	0.5~2
传感节点控制量系数	0.6	2.6	0.3~1.8
吸附压力控制系数	1	2.4	0.5~1.5
移动坐标指令控制系数	0.4	2.6	0.1~0.5
综合指令数据控制系数	1.5	3.8	1.2~2

通过对比表 2 实验结果发现, 提出的设计系统各项控制参量系数均在标准范围之内, 且由于传统基于分布式技术的控制系统控制参量; 从数值大小可以看出, 提出的设计的系统控制精度明显优于传统基于分布式技术的控制系统控制参量系数值。因此, 此次实验设计系统符合提升控制精度设计标准。

综上所述, 结合两次实验对比数据分析后可作出如下结论: 在对爬壁机器人移动控制上, 设计系统具有较高的控制精度; 在对爬壁机器人吸附控制上, 设计系统具有较高的控制精度; 在对爬壁机器人指令控制上, 设计系统具有较高的控制精度; 基于上述控制精度数据, 可以证明提出的基于 D-H 参数的爬壁机器人吸附控制系统设计, 具有提升爬壁机器人吸附控制精度的效果。

5 结束语

文章针对当下爬壁机器人吸附控制系统, 存在的控制精度低问题进行了深入分析, 对数据系统控制同步不对称症结引入了 D-H 参量进行解决, 提出了基于 D-H 参数的爬壁机器人吸附控制系统设计, 通过基于 D-H 参数的硬件与软件设计, 完成系统设计。通过实验对比数据, 证明了设计系统具有提升控制精度的效果。所设计系统的提出与可行性论证, 为爬壁机器人及其控制系统的日后研发, 提供了新的解决方案。随着爬壁机器人技术的不断发展, 设计系统仍旧具有升级优化的空间。

(下转第 103 页)