

Design of Control System for Steel Wall Surface Operating Robot

Shuaxian LI¹, Chaotao LIU², Cui TANG³

College of Mechanical and Vehicle Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 40074, China

Abstract: The problem I am trying to solve in this paper is changing the rust removal method before, improving work efficiency. The approach I adopt to solve the problem is designing a control system for a robot that crawls on the surface of a steel wall, which adopted two stage distributed with host and slave computer. The control system is mainly composed of the lower computer's hardware circuit and the software control system of the host computer. The host computer carries out data communication through the wireless data module, thus controlling the servo motor as the driving force of the robot. The experimental results obtained in this research include finishing the rust removal and inspection of the robot steadily and efficiently.

Keywords: Climbing robot; Surface detection; Host and slave computer; Servo motor

钢面墙表面作业机器人的控制系统的设计

李帅先¹, 刘朝涛², 唐萃³

重庆交通大学机电与车辆工程学院, 重庆 40074

摘要: 为了改变以前落后的检测方式, 提高工作效率, 本文设计一种在钢墙壁表面进行爬行运动的机器人的控制系统。根据机器人的控制要求, 确定采用上下位机的分层控制方案。该控制系统主要由下位机的硬件电路和上位机的软件控制系统组成。上位机通过无线数传模块进行数据通信, 从而控制作为机器人驱动力的伺服电机。通过设计实物, 进行现场调试, 可稳定、高效的完成机器人的检测等工作。

关键词: 爬行机器人; 表面检测; 上下位机控制; 伺服电机

1 引言

由于全球化的经济发展, 世界各国的联系也越发的紧密, 而随之而来的国际远洋贸易也越来越流行, 空运成本的居高不下, 也促动了远洋运输的发展。船舶作为航运事业最为主要的交通方式正发挥着越来越重要的作用。

以钢铁为主要材料组成的轮船金属表面, 由于工作环境的原因, 长期处在潮湿的恶劣自然条件下, 海水会不可避免的对船体发生不同程度的腐蚀生锈。并且随着船舶使用年限的增加, 船体上或多或少会附着上难以清洗的海洋生物。为了延长轮船寿命, 保证航行安全, 船舶必须进行定期除锈和养护。而以前检测方式以人工为主, 既耗时耗力, 效率也很低下, 在实际生产过程中满足不了要求。而如今控制和驱动技术的发展, 使机器人代替人工在轮船钢铁表面进行工作成为可能^[1]。

2 本体结构设计

2.1 机器人机构设计

根据机器人需要在钢面墙作业的特点, 结合船舶检测的功能进行本体的合理设计, 保证机器人作业时符合爬壁要求, 还能完成检测工作。

查阅相关资料^[2], 爬壁机器人的行走方式主要有轮式、履带式还有多足步行式。车轮式和船壁接触面积小, 不稳定安全; 而多足步行协调困难, 控制难度大。综合考虑选用履带式行走方式。

而吸附方式的选择包括负压吸附、真空吸附还有磁吸附等。其中负压吸附和真空吸附需要外接喷气管等气流装置, 易产生缠绕, 使其行走产生障碍。磁吸附结构简单, 应用在刚墙面轮船上安全可靠, 而且吸附力不受外部环境的影响, 不会从墙壁脱落。其中电磁吸附需要外部电流, 一旦电源出现问题吸附力就会消失并且结构设计复杂。

综上所述，我们选择采用永磁吸附履带式爬壁机器人。

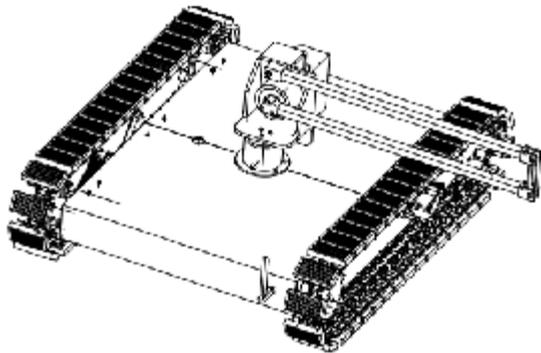


图 1. 钢面墙表面作业机器人本体结构图

如图所示，机器人本体结构包括两条履带构成的吸附系统，每条履带含有 36 个磁力吸附单元。各个磁力单元之间用链条连接，保证机器人在正常工作下，可以按要求前进并灵活转向。

中间的主体控制部分，包括驱动系统和控制及转换电路，由 2 个铝合金板进行封闭。驱动系统包含两台伺服电机及其减速器，两台伺服电机按照对角位置分布。支杆是由在正中央的舵机控制，舵机有两个分别控制水平方向和垂直方向的自由度^[3]。

3 运动控制系统的设计

3.1 机器人控制方案及要求

行走和转向是机器人控制的重点，当左右两个伺服电机转速和转向相同时，机器人以直线前进或后退。当机器人的两个电极转向相反时，做转向旋转运动。由于机器人的工作环境恶劣复杂，这就制约了机器人的控制要求，操作人员必须在保证安全的情况下，远距离无线控制，要求系统可靠性高，方便操作。

由于伺服电机和控制板之间存在电平差异，所以必须接转换电路。综合考虑，结合机器人作业环境，我们决定采用上下位机分布控制方案^[4]。

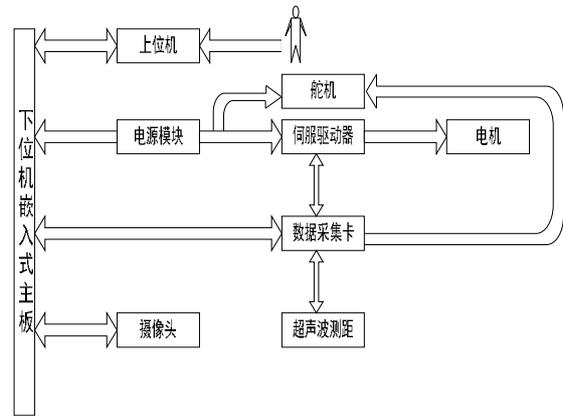


图 2. 爬壁机器人控制系统框图

3.2 下位机硬件设计

机器人的下位机是控制运动系统的核心，它通过无线数传模块接收上位机的控制信号，发送伺服电机和舵机的运动指令。整个下位机包括一个嵌入式主板，它提供整个机器人的操作系统，然后是以单片机为核心的数据采集卡，负责采集处理所有的外部信号。还有各种外部器件之间的转换电路板。

由于机器人的行走部件是伺服电机，如何控制伺服驱动器是下位机的关键。首先伺服驱动器的信号和数据采集卡的电平需要转换，而单片机采集卡的控制信号也需要驱动转换。即嵌入式主板接收上位机信号后控制采集卡对外部运动部件进行信号分析和处理，采集卡通过转换电路将上位机的控制信号转换为相应的电平给伺服驱动器，进而实现电机的前进、后退和转向等一系列运动，从而达到控制机器人进行作业的功能^[5]。

伺服驱动器采用台达 ASDA-B2 系列。模式选择位置模式。位置模式被应用于精密定位的场合，例如产业机械，具有方向性的命令脉冲输入可经由外界来的脉冲来操纵马达的转动角度。位置模式的接线可以是集极开路或者差动方式，我们在这选择集极开路接线输入。

由于下位机的控制板选择数据采集卡，其内部有集成的 D/A 转换与运算放大单元，所以节省外部电路。只需外部转换电路控制数字量输入输出接口以及电源和信号的电平转换等功能。

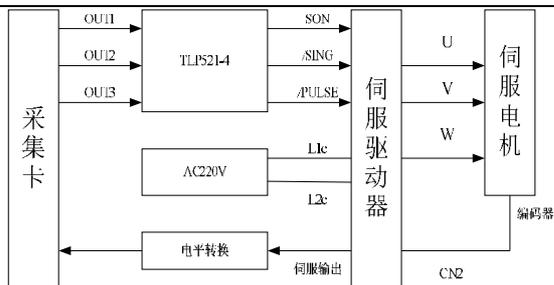


图 3. 伺服驱动电路接线示意图

伺服驱动器里面的位置模式设置，选择脉冲列+符号逻辑型式。其中/PULSE 表示脉冲列，控制速度，/SIGN 表示符号控制方向。符号脉冲高电平表示正向，低电平表示反向^[6]。

4 控制系统的软件设计

在上面叙述中对机器人的硬件控制电路进行了说明，接下来我们将在硬件的基础上，设计机器人的软件部分。

上位机基本通信格式如下（十六进制）：
5F,5F,TYPE,LEN,data。TYPE—命令类型；LEN-包长度；data—命令或数据。

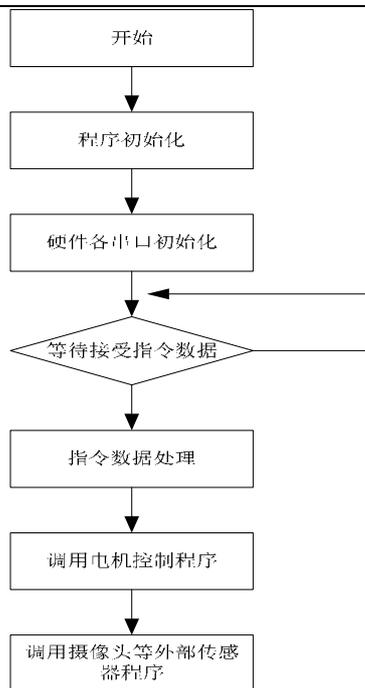


图 4. 上位机程序控制框图

从机通信格式：AF,AF,TYPE,LEN,data。TYPE—命令类型；LEN-包长度；data—命令或数据。

表 1. 通信协议

名称	数据包格式	解释
控制命令	5F,5F,51,3,cmd,cmd,cmd	Cmd: 电机控制命令
参数设置	5F,5F,52,1,vel,vel,vel	1:设置脉冲频率，单位：100hz。
主机请求重发	5F,5F,5F,3,cmd,cmd,cmd	主机接收到从机发来的错误状态或校验字不正确，请求主机重新发送。Cmd:接收到的数据包的控制字。
从机发送采集的图像	AF,AF,A0,X, X, len,len,DATA,0,0	len: 包中图像数据长度，单位字节； x,包序号,DATA: 图像数据，jpg 格式
最后一组图像数据	AF,AF,A1,X, X, len,len,DATA,	len: 包中图像数据长度，单位字节； x,包序号,DATA: 图像数据，jpg 格式
从机请求重发	AF,AF,AF,3,5x,cmd,cmd AF,AF,AF,3,59,id,id	从机接收到主机发来的错误命令或校验字不正确，请求主机重新发送。Cmd:接收到的数据包的控制字。

5 控制器样机与实验

根据以上结构设计和控制系统所选择的方案，经过软硬件相结合组成了我们爬壁机器人的样机，并根据设计要求进行测试。在实际情况下样机测试数据如下表所示。

表 2. 伺服电机实测转速

	左伺服电机转速	右伺服电机转速
前进	587	590

左旋	590	592
右旋	589	587
后退	591	588

由于伺服电机要经过减速比为 250:1 的减速机才能驱动链条进行转动，在实际测试中会存在一定的同步偏差，在经过减速之后，对机器人的实际运动影响就会减小。



图 5. 样机实际工作图

进一步对机器人的动态测试中，机器人每次单步调试的时间为 24s，经过多次测试得出机器人的速度为 0.96m/s。根据以上测试，机器人的运动误差在可接受的范围内。

综上所述，钢面墙爬壁机器人的样机达到了设计要求，其控制系统的性能也基本满足，机械结构的履带模块能安全的吸附在导磁金属壁面上。最后要测试其各模块部件具体性能，进一步优化控制系统，为将来进行机器人的现场运动试验打下坚实的基础。

6 结论

通过对爬壁机器人的研究，将整体系统的软硬件相结合，并进行了相关的实验测试，证明了设计的合理正确性。钢面墙爬壁机器人可以代替传统的人工操作，减轻工人的劳动强度，提高生产效率和施工质

量，在可预见的未来有着不错的前景，和较好的市场应用价值。

References (参考文献)

- [1] 薛胜雄,王乐勤,彭浩军,等. 超高压水除锈技术及其阶段性方程 [J]. 高压物理学报,2004,18(3): 283 - 288.
- [2] 邓义斌, 钟骏杰, 范世东. 船舶 机器人驱动系统设计 [J]. 船海工程, 2006(1): 87—90 .
- [3] 王兴如, 衣正尧, 王祖温, 等. 超高压水射流船舶爬壁除锈机器人力学特性分析[J]. 机床与液压, 2008, 36 (224): 67-70.
- [4] 吴善强, 李满天, 孙立宁. 无线遥控爬壁机器人系统研究 [J]. 机械与电子, 2007(11): 51—54.
- [5] 徐泽亮, 马培荪. 永磁吸附履带式爬壁机器人转向灵活性分析[J]. 上海交通大学学报, 2003, 37(11): 58—61, 65.
- [6] 台达 ASDA-B2 标准泛用型伺服驱动器应用技术手册.台达电子工业股份有限公司. 2011.