

Research and Implementation of Pipeline Robot Wired Communication System

Jianqiang Liu Jinbi Wang

Jincheng Expressway Management Co., Ltd., Jincheng, Shanxi, 045000, China

Abstract

With the rapid development of industrialization, pipeline robots are more and more widely used in various fields. In order to improve the communication capability of pipeline robots in complex environments, this paper studies and implements a novel wired communication system. The system aims to realize the efficient and stable data transmission between the pipeline robot and the control center. Through the deep discussion of the wired communication technology, this study designed a highly adaptable communication scheme, and verified its reliability and practicability in the experiment. The results show that the wired communication system not only meets the real-time requirements of data transmission, but also performs excellent in anti-interference ability, providing solid technical support for the application of pipeline robots in complex environments.

Keywords

pipeline robot; wired communication system; design; implementation strategy

管道机器人有线通信系统的研究与实现

刘建强 王晋璧

晋城高速公路管理有限公司, 中国·山西 晋城 045000

摘要

随着工业化的快速发展,管道机器人在各种领域的应用越来越广泛。为了提高管道机器人在复杂环境下的通信能力,论文研究并实现了一种新型的有线通信系统。该系统旨在实现管道机器人与控制中心之间的高效、稳定的数据传输。通过对有线通信技术的深入探讨,此次研究设计了一种适应性强的通信方案,并在实验中验证了其可靠性和实用性。结果表明,该有线通信系统不仅满足了数据传输的实时性要求,还在抗干扰能力方面表现优异,为管道机器人在复杂环境中的应用提供了坚实的技术支持。

关键词

管道机器人; 有线通信系统; 设计; 实现策略

1 引言

在现代工业生产中,管道系统作为重要的基础设施,承担着输送各种物质的功能^[1]。然而,管道内部环境复杂,常常存在着高温、高压以及腐蚀等不利条件,这使得对管道的监测和维护变得尤为困难。为了解决这一问题,管道机器人应运而生。而管道机器人的有效操作离不开稳定的通信系统。传统的无线通信方式虽然灵活,但在复杂的管道环境中容易受到干扰,导致信号衰减或丢失。因此,研究一种高效的有线通信系统成为提升管道机器人性能的关键。

2 管道机器人有线通信系统需求分析

2.1 管道机器人通信需求

管道机器人通常在复杂的管道环境中进行巡检,这就

要求机器人能够实时传输高清的视频图像、环境数据以及传感器读取的信息。尤其是在一些关键的监测任务中,数据的实时性和准确性直接关系到管道的安全和维护的及时性。此外,管道机器人需要具备远程控制的能力,操作者能够通过通信系统实现对机器人的实时指挥和反馈。

2.2 系统功能需求

其一,系统应支持高清视频流的实时传输,确保操作者可以清晰地观察到管道内部的情况,并及时作出决策。其二,系统还应具备数据采集和上传功能,能够实时监测管道的温度、压力、流量等关键参数,并将数据传输至远程监控中心^[2]。其三,为了提高机器人工作的灵活性,系统应支持多种控制模式,包括手动控制、自动巡航和自主避障等。

2.3 系统性能需求

性能需求方面,管道机器人有线通信系统必须具备高带宽和低延迟的特点,以支持高清视频及大量数据的实时传输。带宽不足可能导致视频卡顿、数据延迟,从而影响操作

【作者简介】刘建强(1975-),男,中国山西晋城人,本科,高级工程师,从事土木工程研究。

者的判断。为了确保系统在长时间工作中的稳定性，有线通信系统还需具备较强的抗干扰能力和环境适应性，能够在潮湿、高温及各种恶劣条件下正常运行。管道机器人系统技术方案如图 1 所示。

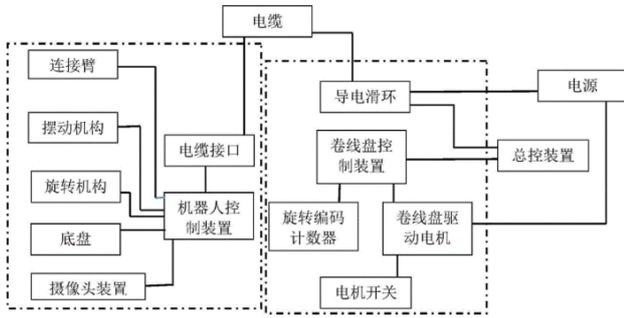


图 1 管道机器人系统技术方案

3 管道机器人有线通信系统设计

3.1 硬件设计

3.1.1 控制单元设计

控制单元是系统的核心部分，主要负责管道机器人的运动控制和数据处理。该单元采用高性能的微处理器作为控制核心，通过多通道的 ADC（模数转换器）实现对传感器数据的实时采集。同时，为了提升控制精度，控制单元还集成了多种传感器接口，如 IMU（惯性测量单元）、温湿度传感器等，便于实时监控机器人的运行状态和环境参数^[1]。在控制算法方面，采用了 PID 控制算法，以保证机器人在管道内能够平稳运行，避免在转弯或遇到障碍物时发生失控现象。

3.1.2 通信单元设计

通信单元需要实现机器人与上位机之间的高速数据传输，确保数据的及时性和完整性。为此，通信单元采用了 RS-485 标准，具有较强的抗干扰能力和较长的传输距离。通过双绞线连接，通信单元能够在复杂的电磁环境中保持稳定的信号传输。同时，为了提高数据传输的效率，设计了数据压缩算法，可以在保证数据质量的前提下，减少数据传输量，提升通信速率。

3.1.3 电源管理单元设计

电源管理单元则负责为系统提供稳定的电力支持。该单元采用了多路输出设计，能够为不同的模块提供所需的电压和电流。同时，考虑到管道机器人的工作环境，电源管理单元集成了过电流、过压和短路保护功能，以确保系统在异常情况下的安全运行。此外，为了延长机器人的工作时间，电源管理单元还设计了智能电池管理系统，能够实时监测电池的状态，优化电池的充放电过程，提高电池的使用效率。

3.2 软件设计

3.2.1 嵌入式软件设计

嵌入式软件负责控制机器人在管道中的各种操作，包

括运动控制、数据采集和通信管理。本次研究采用了模块化设计方法，将整个嵌入式软件划分为多个功能模块，以提高代码的可维护性和可扩展性。具体来说，运动控制模块通过 PID 控制算法实现对机器人的精确定位和速度控制，确保机器人能够在复杂的管道环境中灵活移动。为了实现高效的通信，本次设计在嵌入式软件中采用了多线程机制，使得数据的发送与接收能够并行进行，从而减少延迟，提高系统的响应速度。

3.2.2 上位机软件设计

上位机软件主要负责与嵌入式系统进行通信，接收来自机器人的数据，并对其进行可视化展示。为了实现这一功能，此次研究选择了基于 Windows 平台的开发环境，使用 Visual Studio 作为开发工具。上位机软件采用了图形用户界面（GUI）设计，使得用户能够直观地观察到管道机器人的实时状态。通过图形化的方式，用户可以轻松查看传感器数据、机器人位置和运行状态等信息。为了提高用户体验，本次研究在软件中实现了一些实用功能，如一键启动、手动控制和自动巡检等，极大地方便了用户的操作。

3.2.3 通信协议设计

通信协议是嵌入式系统与上位机之间信息交换的规则，它直接影响到系统的通信效率和稳定性。此次设计采用了基于 TCP/IP 协议的通信方式，确保数据传输的可靠性和实时性。具体来说，在设计通信协议时，本次研究定义了数据包的结构，包括数据头、数据体和校验码等部分。数据头中包含了信息的类型、长度和序列号等标识，数据体则承载了具体的传感器信息或控制指令，而校验码则用于确保数据在传输过程中的完整性。在实际应用中，机器人会定期向上位机发送状态报告，而上位机则根据接收到的数据实时更新用户界面。管道机器人控制模块如图 2 所示。

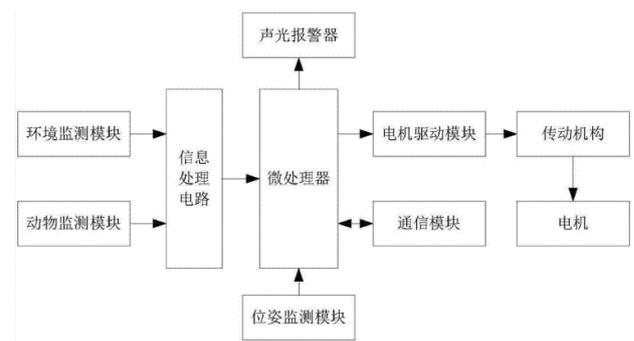


图 2 管道机器人控制模块

4 管道机器人有线通信系统实现

4.1 硬件实现

4.1.1 电路板制作

电路板的制作是一个关键步骤。本次设计采用了 PCB（印刷电路板）设计软件进行电路图的绘制，并根据系统需求优化了电路布局，以确保信号传输的稳定性和抗干扰能

力。在电路板制作过程中选择了高质量的材料，以提高电路板的耐用性和可靠性。通过与专业的 PCB 制造商合作，此次研究最终获得了符合设计要求的电路板。

4.1.2 元器件选型及焊接

为确保系统的高效能，本次研究选择了具有良好性能的元器件，如高频率的微控制器、低功耗的传感器以及高带宽的通信模块。选型过程考虑了元器件的供货稳定性和价格因素，以避免在后期使用中出现不必要的麻烦。在焊接过程中，采用了手工焊接与自动化焊接相结合的方法，确保每个元器件都能牢固地焊接到电路板上。焊接完成后，对电路板进行了仔细的目视检查，以确保没有虚焊或短路现象^[4]。

4.1.3 硬件调试

使用示波器和万用表等工具，对电路板的各个部分进行逐一检测，确认电路的工作状态和信号的稳定性。在调试过程中发现了一些小问题，如某些信号的波形不理想，通过调整电路参数和重新焊接相关元器件，最终解决了这些问题，确保了电路板的正常工作。

4.2 软件实现

4.2.1 嵌入式软件编写

在嵌入式软件的编写阶段，设计中采用了 C 语言作为主要开发语言，结合实时操作系统 (RTOS) 进行开发，以实现管道机器人的实时控制能力。嵌入式软件的核心功能包括数据采集、信号处理和通信协议的实现。数据采集模块主要负责从传感器获取管道内部的环境信息，如温度、湿度及压力等。这些信息经过处理后，嵌入式软件将通过有线通信系统将数据传输至上位机。而在通信协议方面，选择了 RS-485 标准，因为它在长距离传输中具有良好的抗干扰能力和稳定性。

4.2.2 上位机软件编写

上位机软件主要是为了实现人机交互，提供用户友好的操作界面，并展示从管道机器人获取的数据。本次研究使用了 Python 语言和 Tkinter 库来开发图形用户界面 (GUI)，使得操作更加直观。在上位机软件中，用户可以实时查看管道内部的环境数据，设置机器人的工作参数，并对机器人的动作进行控制。此外，上位机软件还需与嵌入式软件通信，因此实现了基于串口通信的接口，使得数据能够高效地传输。

4.2.3 软件调试

首先在开发环境中对嵌入式软件进行单元测试，确保每个模块的功能正确。随后，将嵌入式软件与上位机软件进行联调，测试数据在两者间的传输是否顺畅。在调试过程中，

使用了逻辑分析仪和示波器等工具来监测信号的波形，确保数据传输的准确性和实时性。同时，通过对错误信息的分析，不断优化代码，以提高系统的稳定性和可靠性。

4.3 系统集成与测试

4.3.1 硬件与软件集成

软件开发完成后进入了系统集成阶段。在这一过程中，硬件与软件的整合是关键。首先将嵌入式主控板与各种传感器、驱动模块以及通信模块进行连接，确保硬件平台的功能正常。随后，将嵌入式软件烧录到主控板中，并通过上位机软件进行通信测试。在这一过程中，需要检查硬件连接的可靠性，防止由于连接不良导致的数据丢失或通信错误。

4.3.2 系统功能测试

系统功能测试是检验管道机器人是否能够满足设计要求的重要环节。在测试过程中，设置了多个测试场景，包括正常工作状态和各种异常情况，以评估系统的稳定性和应对能力。通过模拟不同的管道环境，观察到机器人在数据采集和传输过程中的反应时间，以及在遇到障碍物时的自动避让能力。测试结果表明，系统能够在复杂环境中稳定运行，数据传输准确无误，满足实际应用需求。

4.3.3 系统性能测试

系统性能测试主要关注系统的响应时间、数据传输速率以及抗干扰能力。本次研究中对系统进行了长时间的连续运行测试，记录数据传输的延迟和错误率。这些测试结果帮助进一步优化系统设计，如调整通信参数、改善信号处理算法等，以增强系统的整体性能。

5 结语

总之，管道机器人有线通信系统的研究与实现，对于提高管道机器人的工作效率和可靠性具有重要意义。论文分析了管道环境对通信系统的挑战，总结了关键技术，并给出了一种实现方案。希望这项研究能够为管道机器人的发展提供有益的参考和启示。

参考文献

- [1] 卢灿,姚程浩,崔宇杰,等.地下管道机器人定位系统[J].机械工程与自动化,2024(2):114-116.
- [2] 王有明,陈品,陈德福.轮式电力巡检机器人控制系统设计与实现[J].中国高新科技,2024(8):20-22.
- [3] 李彰,吴学洲,李宜全,等.复合型管道焊缝渗透检测机器人系统设计[J].无损检测,2024,46(8):70-76.
- [4] 吴璋,佃松宜,龚永铭,等.电缆管道巡检机器人远程测控系统的研究与实现[J].测控技术,2013,32(9):32-36.