

基于 PLC 的石油催化裂化车间安全 巡检小车设计

陈庆, 何新霞, 张政, 张宇辰

(中国石油大学(华东)信息与控制工程学院, 山东青岛 266580)

摘要: 在石油催化裂化车间安装固定传感器来检测车间环境的方案, 受安装位置的限制存在监控盲区; 开发一款安全巡检小车与原有的监测系统相结合, 对降低车间发生事故的概率, 有着直接而重要的作用; 以一台基于 PLC 控制的巡检小车为载体, 搭载多个气体检测传感器和 ZigBee 通讯模块; PLC 与单片机相结合, 控制小车自动巡航; 使用 EM235 模块和气体传感器, 监测车间环境状况; 将环境数据通过 ZigBee 发送给上位机实时显示; 当被测气体的浓度大于警戒值时, 启动蜂鸣器和灯光报警; 上位机采用 C++Builder 设计人机交互界面。通过测试表明, 安全巡检小车与传统监测系统相结合可以更好地反映车间环境状态, 提高监控效率。

关键词: 催化裂化车间; PLC; 人机交互; ZigBee; C++Builder

Design of Safety Patrol Car for Petroleum Catalytic Cracking Workshop Based on PLC

Chen Qing, He Xinxia, Zhang Zhen, Zhang Yuchen

(College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: In the oil catalytic cracking workshop, the method of installing fixed sensors to detect the environmental state of the workshop is restricted by the installation position. Developing a safety patrol car combined with the original monitoring system will play a direct and important role in reducing the probability of accidents in the workshop. A PLC based car is used as a carrier to carry multiple gas sensors and ZigBee communication modules. PLC and SCM combined to control the car's automatic cruise. Using the EM235 module and the gas sensor to monitor the environmental conditions of the workshop, and the environment data is sent to the host computer through ZigBee to display in real time. When the measured concentration is greater than the warning value, start the buzzer and light alarm. The host computer uses C++Builder to design human-computer interaction interface. The experimental results show that the combination of the safety patrol car and the traditional monitoring system can better reflect the environmental state of the workshop and improve the monitoring efficiency.

Keywords: catalytic cracking workshop; PLC; human-computer interaction; ZigBee; C++Builder

0 引言

随着现代科学技术的发展和进步, 危险环境的观察和探测不再由人员直接参与, 而是通过控制可移动的无线监控系统实现观测^[1]。催化裂化装置的危险气体泄漏主要包括可燃气体和有毒气体, 企业目前普遍依靠气体探测器进行检测, 然而, HSE (Health and Safety Executive, UK) 碳氢化合物泄漏事故的统计数据表明, 气体探测器准确检测泄漏工况的成功率并不理想, 如 1992—2014 年发生的气体泄漏事故中由探测器成功检测出的仅占 52%^[2]。论文提出在传统固定传感器监测系统的基础上, 结合安全巡检小车实时巡检的设计方案, 旨在扩大实时监测的空间, 使监测不再受传感器安装位置的限制, 更好的动态监测车间内的实时状态, 降低事故发生的概率。

论文设计开发了石油催化裂化车间安全巡检小车系统, 利用 PLC 结合单片机完成自动巡航控制模块的设计, 基于 Zig-

Bee 建立无线通讯网络, 使用 C++Builder 设计上位机监控界面, 实现了车间安全巡检功能。

1 巡检小车控制系统的整体设计方案

目前的石油炼化厂车间对监测系统要求的范围更广、数据的传输更快、监测系统的抗干扰能力更强以及成本要相对较低, 而传统的监测手段大多采用有线的数据传输方式, 存在覆盖面积窄、布线麻烦、抗干扰能力差、硬件和维护成本高等问题^[3]。此外在脱硫环节从再生塔顶出来的酸性气体中带有大量的硫化氢。若发生容器、管线、阀门任何一处泄漏, 都将发生人体中毒事故^[4]。而在特定位置安装固定传感器监测车间环境的方案, 具有监测空间的局限性。

本文设计的安全巡检小车, 运动性强, 可以自动寻迹和避障, 维持自身的巡航。小车以自动寻迹代替自动循迹, 可适应各种复杂的厂房环境。在车间环境监测方面, 可实时检测温度、气体浓度等多种车间内基本指标, 所有环境数据实时上传给上位机。上位机可视化监控界面使用 C++Builder 设计, 实时显示车间环境状况, 并对异常状况自动报警, 监控效率提高。

安全巡检小车可分为运动控制模块、环境感知模块、无线通讯网络模块和上位机模块。总控制器采用西门子 S7-

收稿日期: 2017-09-29; 修回日期: 2017-10-27。

作者简介: 陈庆(1992-), 男, 河南灵宝人, 硕士研究生, 主要从事电力电子与电力传动方向的研究。

何新霞(1966-), 女, 河南滑县人, 副教授, 主要从事油气测控技术、电力传动及控制系统方向的研究。

200PLC, 运动控制模块将 PLC 与单片机相结合, 控制驱动电机和转向电机。单片机采用 STC12C5A60S2 型号的单片机, 该单片机有双串口, 在安全巡检小车的通讯方面有着重要作用。环境感知模块主要是模拟量扩展模块 EM235, 结合模拟量传感器测取环境数据, 采集的数据通过 PLC 实时发送给上位机。无线通讯网络模块通过 ZigBee 模块构建, 完成上位机与小车的无线通讯。上位机模块使用 C++Builder 设计, 接收 PLC 发送的实时数据, 同时发送控制命令给 PLC, 实现人机交互。PLC 作为主控制器, 响应上位机的命令, 控制整个系统运行。各个模块协调工作, 可达到最优的控制效果。小车控制系统模块如图 1 所示。

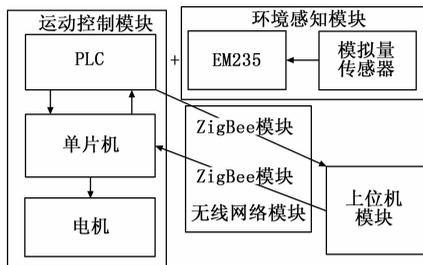


图 1 小车控制系统模块示意图

2 硬件系统设计

2.1 小车的运动控制

2.1.1 驱动电机的控制

小车采用后轮驱动, 为了避免采用两台步进电机驱动时, 一台出现失步影响小车运行的情况发生, 采用一台 57 双出轴步进电机驱动, 保证两轮的运动状态完全一致。正常工作时, 由上位机发送启动指令, 启动指令通过 ZigBee 的点对点通讯发送给单片机, 单片机根据启动指令将特定的引脚置高。单片机的拉电流是 20 mA 左右, 通过接上拉电阻和 ULN2003 芯片将信号放大, 达到继电器的吸合电流, 之后连接相应的继电器, 继电器连接 PLC 的输入触点。其信号处理的具体硬件接线如图 2 所示。经过这样的信号处理后, 单片机引脚置高就会闭合 PLC 相应的输入触点。PLC 根据闭合的输入触点, 开始输出相应的高速脉冲给电机驱动。电机驱动采用 TB6600 步进电机驱动器, 驱动器接收到高速脉冲后, 会输出相应的脉冲序列给步进电机, 步进电机接收到脉冲序列后开始以给定转速运行, 从而实现上位机对安全巡检小车的运行控制。

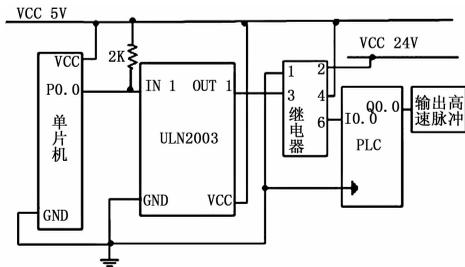


图 2 信号处理的硬件接线图

2.1.2 转向电机的控制

安全巡检小车的转向是采用一台两相四线步进电机进行机械转向, 步进电机相对于其它电机的最大区别是, 它的角位移

量与输入的脉冲个数严格成正比, 而且在时间上与脉冲同步。因而只要控制脉冲的数量、频率和电机绕组的相序, 即可获得所需的转角、速度和方向^[5]。当需要转向时, PLC 发出转向信号给执行单片机, 执行单片机根据 PLC 发出的转向信号, 输出特定的脉冲序列给转向步进电机驱动, 转向步进电机驱动采用 L298N 电机驱动模块。单片机通过 4 个引脚输出特定个数的八拍脉冲信号给电机驱动模块, 电机驱动模块会输出相应的八拍脉冲序列给转向步进电机, 步进电机按照要求的方向和角度转向。具体的转向控制硬件连接如图 3 所示。

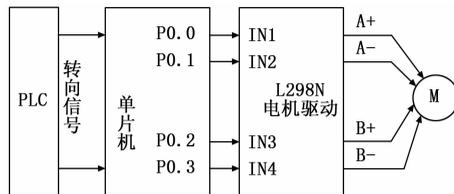


图 3 转向控制硬件连接示意图

转向控制信号来自于 PLC 对接收到的超声波测距模块返回的距离数据的逻辑判断。当代表小车前方或左右距离的数据小于或大于设定值, PLC 会输出相应的转向信号控制转向电机转向。超声波模块安装的距离较近, 同时工作时声波的反射会对相邻的模块产生干扰, 为了避免这种干扰导致测距出现偏差, 同一时刻只让一个超声波模块工作, 加快循环的速度, 可以实现实时测距的效果。GM8125 可以将一个全双工的标准串口扩展成 5 个标准串口, 并能通过外部引脚 MS 控制串口扩展模式: 单通道工作模式和多通道工作模式^[6]。安全监测小车中 GM8125 芯片采用单通道工作模式, 将引脚 MS 悬空。用单片机的引脚充当地址线, 在一个时刻, 选择一组 RXD 和 TXD 与母串口进行通讯。选择对应的串口, 即选择此刻刻工作的超声波模块。同时加快循环速度就能实现实时测距的功能。芯片与单片机的硬件连接如图 4 所示。

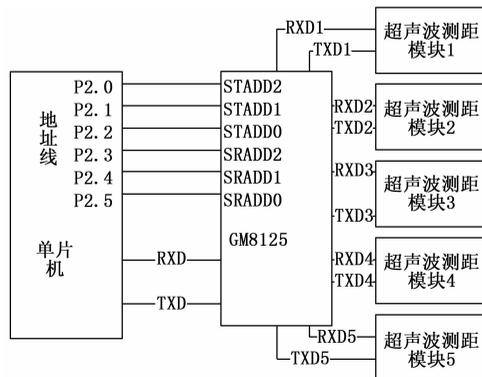


图 4 芯片与单片机的硬件连接

超声波模块采用 HC-SR04 超声波测距模块, 该模块有 UART (串口) 模式和触发模式。论文采用 UART (串口) 模式, 通过在单片机的 Trig/TX 管脚输入波特率为 9 600 的 0X55, 距离数据会通过 Echo/RX 管脚返回。通过串口触发模式可直接得到距离数值, 距离数据从串口 1 输入给单片机, 从单片机的串口 2 发送给 PLC 的自由口, PLC 对接收到的数据进行判断, 输出转向信号控制小车的转向。由于 PLC 自由口

支持 RS485 接口标准, 单片机要与 PLC 进行通讯, 还需使用 TTL 转 485 信号转换模块 XY-017。距离信息的传递流程图如图 5 所示。

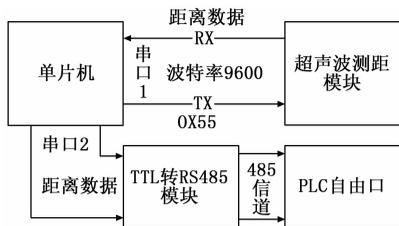


图 5 距离信息传输流程图

安全巡检小车采用 ZigBee 无线通讯模块来构建通讯网络。ZigBee 模块主要分为中心节点和终端节点两大类, 中心节点作为协调器负责建立 ZigBee 无线网络, 终端节点作为路由器主动扫描网络并申请加入, 两者建立无线链路后即可进行点对点的数据通信^[7]。安全巡检小车的位置信息通过自由口发送给 PLC, 每次新数据读入完成后, PLC 通过 ZigBee 模块的点对点通讯将总数据发送给上位机。发送给上位机的总数据包括来自 EM235 模块的环境数据和移动监测平台的位置数据。上位机的控制信息通过 ZigBee 点对点通讯回传给单片机, 单片机对控制信号预处理后发送给 PLC。ZigBee 构建的无线通讯网络, 实现了用户对小车的无线控制, 并保证了监控的实时同步。具体的无线网络通讯工作如图 6 所示。

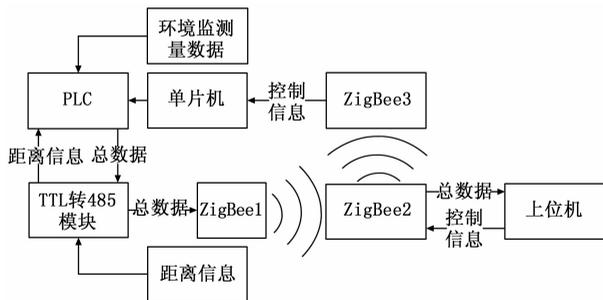


图 6 无线网络通讯工作示意图

2.2 车间的环境检测

采用 MQ-136 模块检测硫化氢浓度, MQ-8 模块检测氢气浓度, MQ-7 模块检测一氧化碳浓度, MQ-4 模块检测甲烷浓度, 热敏电阻模块检测温度, 所有传感器输出的模拟量信号均为电压信号, 这些信号连接 EM235 模块时, 分别接至相应通道的 X+ 和 X- 端子。以温度测量为例, 设热敏电阻模块标称的测温范围为 $T_1 - T_2$, 设置所有模拟量的数据字格式为单极性, 全量程范围 $0 \sim 32\,000$, 若测得的模拟量数据为 A_0 , 则当前温度 A 可表示为:

$$A = \frac{A_0}{32\,000} \times (T_2 - T_1) + T_1$$

其他的模拟量检测与温度类似。为了提高数据的测量精确, 便于后续的数据无线传输, 将最后得到的数据扩大 1 000 倍, 这样可保留到小数点后三位。

3 软件程序设计

软件设计分为两部分, 第一部分为 PLC 与单片机之间接

收和发送数据的程序设计, 第二部分为单片机与超声波测距模块通讯程序设计以及对 PLC 输出信号和对上位机控制信号的处理程序设计。

3.1 PLC 与单片机通讯程序设计

PLC 与单片机通过 PLC 的通讯端口 0 进行通讯。在自由口模式下, 使用接收中断、发送中断、发送指令 (XMT) 和接收指令 (RCV) 来和单片机通信^[8]。部分串口初始化程序如图 7 (a) 所示。SMB30 用来配置通讯端口 0 的自由口通讯模式, SMB89 用来设置信息结束字符。设置 SMB30 的值为 09 H, 即设置通讯端口 0 通讯模式为无奇偶校验, 波特率 9 600, 数据位为 8 位; 设置 SMB89 的值为 FFH, 即设置信息结束字符为 FF。使用 ATCH 指令将接收信息完成中断事件连接到中断服务程序 0; 使用 RCV 指令将自由口 0 设置成接收模式, 并设置存储数据缓冲区。

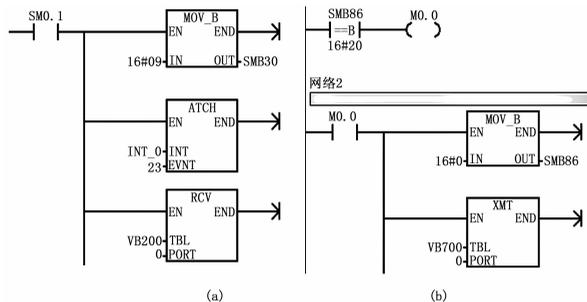


图 7 部分初始化程序及中断服务程序 0

当一次的距离数据接收完成后, 进入中断服务程序 0。PLC 的中断服务程序 0 如图 7 (b) 所示。SMB86 在接收到信息结束字符后会变成 20 H, 在中断服务程序 0 中, 判断 SMB86 的值是否等于 20 H, 若等于 20 H, 则是一次完整的数据接收, 接下来对 SMB86 清零, 使用 XMT 指令将自由口 0 设置成发送模式, 发送 PLC 当下所获得的所有环境检测数据和距离数据。发送完成后启动 RCV 指令将自由口设置成接收模式, 准备下一次数据的接收。每次接收数据的存储位置都是同一存储单元, 实现数据的覆盖刷新。

3.2 单片机程序设计

单片机主要负责与超声波模块的通讯和上位机控制信号、PLC 转向控制信号的处理。

在单片机与超声波模块通讯程序设计中, 超声波测距模块工作在串口模式下, 单片机直接通过串口发送读取距离数据指令, 同时设置单片机为允许串口接收数据模式。超声波模块接收到读取指令后, 返回距离数据, 单片机进入串行通信中断, 将数据存入事先定义好的数组, 之后判断接收到的数据是否为 5 个距离数据的最后一个数据, 若是则设置单片机为禁止串口接收数据模式, 发送此时数组中的所有数据, 清零所有计数器, 然后开始下一次的循环; 否则开始选择下一个超声波测距模块读取距离数据。

单片机信号处理程序中, 主程序设置单片机为允许串口接收数据模式。上位机有控制信息下传时, 单片机接收到控制信号, 进入串行中断, 根据接收到的控制信号置高相应的引脚, 控制继电器线圈通电, 闭合相应的 PLC 输入触点, PLC 根据闭合的输入触点执行相应的操作。当 PLC 输出转向控制信号

时, PLC 会闭合相应的输出触点, 控制继电器线圈通电, 置高单片机的相应引脚, 单片机根据此信号, 输出对应的脉冲序列。

4 监控界面设计

采用 C++ builder 设计上位机监控界面。上位机监控主界面包括用户的登录、巡检小车的启动、停止、休眠以及唤醒控制, 还可根据需要选择要进入的子界面, 子界面包括车间状态监控和机器人位置监控。上位机监控主界面如图 8 所示。串口通讯采用 MSComm 通信控件, MSComm 控件是 Microsoft 公司提供的串行通信编程的 ActiveX 控件, 它为应用程序提供了通过串行接口收发数据的简便方法^[9]。PLC 将采集的数据通过 ZigBee 模块发送给上位机, 上位机接收到的数据是 16 进制。以温度数据处理为例, 先将接收到的数据转变为 10 进制, 再将此数据除以 1 000, 即为当前时刻车间温度, 将温度值在状态监控界面通过 Memo 控件的 Text 属性进行显示。若温度超过警戒设定值, 通过 Label 控件的 Caption 属性显示报警信息, 提示当前温度状态异常, 同时调用 Message-Box 函数, 弹出报警对话框提示工作人员处理。上位机接收到的小车位置数据在机器人位置监控界面通过 Memo 控件的 Text 属性显示。



图 8 上位机监控主界面

5 实验结果与分析

经过测试, 监控系统运行正常, 用户登陆主界面后, 在主界面可以成功控制小车的启动、停止、唤醒以及休眠, 巡检机器人状态指示灯为绿色时, 巡检小车处于启动状态, 红色时为停止状态, 白色时为休眠状态。巡检小车启动后, 用户在菜单栏选择要进入的子界面, 就可以实时监测小车的运行状态及需巡检车间的环境参数。图 9 为某时刻车间状态监测数据实验结果, 实时显示了当前时刻车间的温度、硫化氢、一氧化碳、甲烷等气体的浓度, 当某种参数值超过要求的警戒值时, 给以相应的提示和报警, 完成了对车间环境参数的实时监测。图 10 为某时刻机器人位置数据实验结果, 显示了巡检小车的前方、左前方、右前方、左后方、右后方与障碍物的距离, 当某一方间距小于安全距离时, 小车可以完成自动避障和转向, 可以完成正常巡航。

6 结语

将 PLC 与单片机相结合, 实现安全巡检小车的自动巡航, 使用 EM235 模块和模拟量传感器监测车间环境, 利用 ZigBee



图 9 车间状态监测

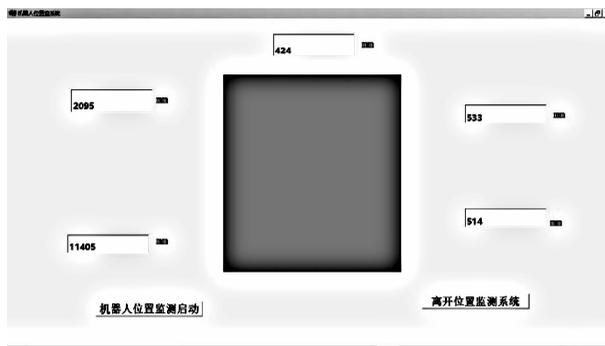


图 10 机器人位置监测

技术完成监测数据的实时传输, 上位机监测实时同步。小车实现了石油催化裂化车间的安全巡检, 将小车与车间原有的监测系统相结合, 可以弥补车间原有其监测系统存在监测盲区的问题, 进一步降低车间发生事故的概率。经过测试表明, 该系统灵活性高, 可适应复杂的车间环境, 通用性好, 可以改善原有监测系统的监测盲区问题。

参考文献:

- [1] 李肃义, 王 宁, 樊蒙璇, 等. 无线遥控视频监控小车的设计 [J]. 吉林大学学报, 2017, 35 (2): 146-152.
- [2] 章 博, 慕 超, 王志刚, 等. 考虑多因素的危险气体探测器选址优化方法 [J]. 化工进展, 2017, 36 (8): 2809-2815.
- [3] 包启明, 陈益民, 苏保兰. 基于 ZigBee 和 3G 的远程监测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3171-3173.
- [4] 李新宇. 中石油大连石化分公司重油催化裂化生产系统安全评价研究 [D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [5] 刘宝志. 步进电机的精确控制方法研究 [D]. 济南: 山东大学, 2010.
- [6] 钱震宇, 肖昌汉. 基于 GM8125 的单片机多串口通信电路的设计与实现 [J]. 船电技术, 2011, 31 (11): 22-24.
- [7] 李 路, 何新霞, 孔祥飞, 等. 基于 PLC 与 ZigBee 的室内环境监控系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (5): 112-114.
- [8] 刘瑞婷, 张南平, 陈 勇. S7-200 系列 PLC 自由口模式下实时通信技术研究 [J]. 计算机技术与发展, 2006, 16 (12): 156-158.
- [9] 章 辉, 叶建芳, 叶建威. 基于 MSComm 控件串口通信的实现 [J]. 电子测量技术, 2011, 34 (8): 126-129