

一种基于嵌入式小型 PLC 的智能控制模块设计

林滔

(上海电子信息职业技术学院, 上海 201411)

摘要:在嵌入式技术的支持下,设计一种小型 PLC 智能控制模块。通过嵌入式的方式改装 PLC 的内部结构和接口。智能分配 PLC 内存空间,设计合理的用户控制任务调度算法。从开关量和数字量两个方面,实现小型 PLC 智能控制模块任务调度。验证实验表明:与传统控制模块相比,设计模块的开关量控制成功率提高了 6.38%,数字量控制误差降低了 2.8,且吞吐量得到明显提升。

关键词:嵌入式技术;小型 PLC;智能控制模块;控制算法;开关量;数字量

中图分类号:TP273 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)05-0219-04

An Intelligent Control Module Design Based on Embedded Small PLC

LIN Tao

(Shanghai Technical Institute of Electronics & Information, Shanghai 201411, China)

Abstract: This paper designs a miniaturized PLC intelligent control module with the support of embedded technology. The internal structure and interface of PLC are refitted through embedded mode. PLC memory space is intelligently allocated and reasonable user control task scheduling algorithm is designed. The task scheduling of small PLC intelligent control module is realized from two aspects of switching value and digital value. The verification experiments indicate that the switching value control success rate of the designed module is increased by 6.38%, the digital value control error is reduced by 2.8, and the throughput is significantly improved in comparison with the traditional control module.

Keywords: embedded technology; small PLC; intelligent control module; control algorithm; switching value; digital quantity

0 引言

PLC 是一种可编程控制器,它是一种数字操作的电子学系统,特别适用于工业环境中的自动控制^[1]。PLC 从单机到整条生产线,甚至对整条生产线的自动化都起到了很好的作用。为了降低 PLC 在控制系统中的占用空间,同时保证 PLC 控制指令的执行与传输效率,大多采用嵌入式的方式将其安装在被控制对象内部。嵌入式系统是基于计算机技术,通过对软硬件的剪裁来满足用户对功能、体积和功耗等方面的需求。相对于传统 PLC,嵌入式 PLC 的硬件架构更开放,指令集也更多,便于用户编程,因此应用范围更广、应用频率更高。

从当前关于嵌入式 PLC 智能控制的研究成果方面来看,各研究单位加强了对嵌入式小型 PLC 技术的研究,也形成了一些技术积累。但是,由于技术还不是很完善,因此存在控制效果不佳的问题,主要体现在开关量和模拟量两个方面。为了解决当前小型 PLC 智能控制模块存在的问题,本文深入研究嵌入式技术,对小型 PLC 控制模块加以改进。

1 方案设计

在嵌入式技术的支持下,应用小型 PLC 为智能控制

模块核心处理部件^[2]。此次小型 PLC 智能控制模块的设计分为硬件设备设计和智能控制模块的逻辑设计两个部分。在硬件设备和模块设计的交互作用下,完成嵌入式 PLC 智能控制模块的逻辑构建。具体的嵌入式 PLC 智能控制模块逻辑图如图 1 所示。

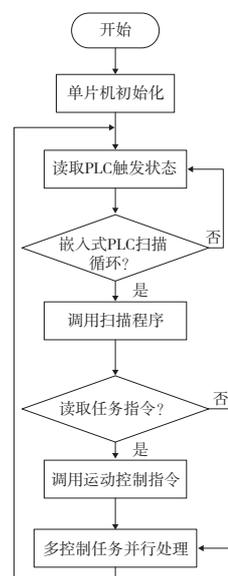


图 1 嵌入式 PLC 智能控制模块逻辑图

作者简介:林滔(1979—),男,浙江金华人,讲师,硕士,研究方向为微控制器开发。

1.1 核心控制电路设计

此次以嵌入式技术为基础的小型 PLC 智能控制模块,选择 MCS8051 型号的 PLC 作为模块的核心处理部件,能够进行硬件除法、分支预测等处理任务,其内部结构如图 2 所示。

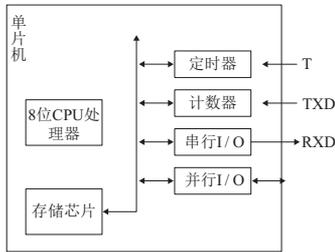


图 2 模块内部结构图

图 2 所示的 PLC 是一个 8 位二进制的中心处理器,即以字节为单位进行数据的处理^[3]。PLC 主要包括三大模块:运算逻辑模块、定时控制模块以及专用寄存器模块。算术逻辑单位可以进行加、减、乘、除、与、或、非、异或等的逻辑操作指令^[4]。

1.2 小型 PLC 控制模块的改装

小型 PLC 由电源、微控制器、存储器 and 输入输出接口集成电路等部分构成,图 3 表示的是 PLC 的基本结构。

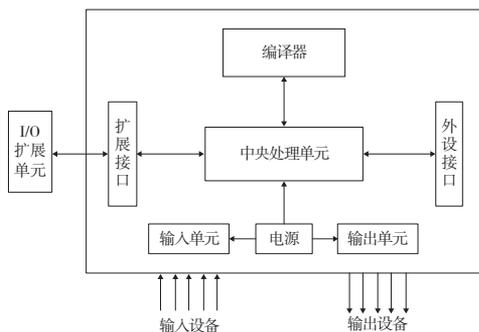


图 3 PLC 硬件组成框图

根据 MCS8051 的工作模式以及 PLC 的编程与控制原理,调整其接口电路。以输入电路为例,由于设备输入界面包含了数字和模拟量,因此,在进行数据输入与采样时应分别考虑模拟和数字两种情况^[5]。具体的接口电路调整结果如图 4 所示。

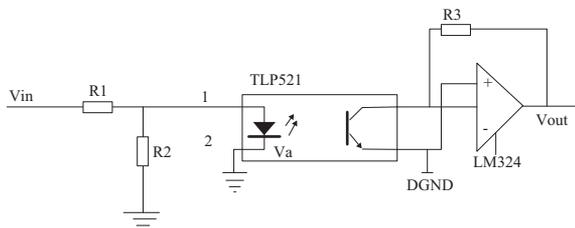


图 4 PLC 设备输入接口电路图

图 4 中的 Va 是通过信号调节器与线性光耦合器 HCNR200 进行光电绝缘并由 AD1 输出的传感器信号^[6]。

对嵌入式 PLC 输出、LCD 等改装调整。

1.3 智能分配 PLC 控制模块内存空间

按照存储的控制命令格式,将存储单元划分为 X 区、Y 区、M 区、T 区、VD 区等区域。X 区存储从接收外部单元发送的信号,Y 区存储要进行端口输出的信号,M 区存储辅助继电器信号,VD 区用来存储数据和执行结果,T 区存储计时器信息^[7]。

1.4 用户控制任务调度算法设计

小型 PLC 智能控制模块的任务工作流程可以分为输入采样、用户程序执行、输出刷新 3 个阶段^[8]。其中,用户控制任务调度算法的具体流程设计如图 5 所示。

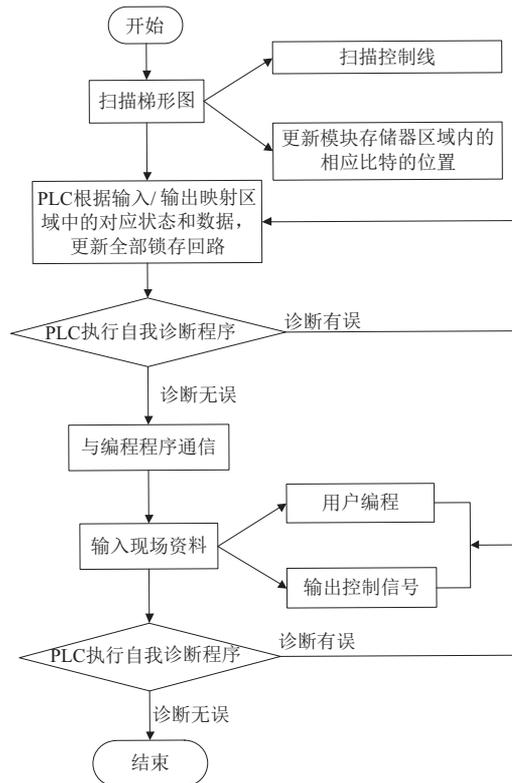


图 5 小型 PLC 智能控制模块的工作流程图

完成梯形图的扫描后,PLC 更新全部锁存回路,通过输出回路驱动外部器件^[9]。每次扫描时,PLC 还会执行自我诊断程序,检查各个输入、输出点、内存等。再与编程程序通信,以完成相应的处理^[10]。输入现场资料,依次进行用户编程、输出控制信号、完成一次扫描,进入 PLC 自诊断程序,输出最终的刷新结果。实际的用户控制任务调度处理过程如下。

计算当前嵌入式 PLC 的处理能力:

$$\lambda_i = \frac{T_n}{T_i} \quad (1)$$

式中 T_n 和 T_i 分别为用户输入控制任务在标准处理器和嵌入式 PLC 设备上的执行时间。若 λ_i 的计算结果高于 0.8,则确定当前嵌入式 PLC 设备具有处理当前控制任务的能力。输出控制指令转换过程表示为

$$\gamma_{out} = \frac{V_{IN} \times 1024}{V_{REF}} \quad (2)$$

式中 V_{IN} 和 V_{REF} 分别为输入的模拟量电压和参考电压。按上述方式转换模块中所有的控制任务,并计算各个控制任务的动态价值密度与执行紧迫性,计算公式如式(3)所示。

$$\begin{cases} \bar{V}_{D_i} = \frac{V_i}{C_i} \\ \delta_i(t) = q^{e_i} \end{cases} \quad (3)$$

式中: V_{D_i} 表示控制任务 i 的价值密度; \bar{V}_{D_i} 表示各个控制任务的动态价值密度; V_i 和 C_i 分别表示控制任务预期价值和理论执行时间; q 为常数系数; e_i 为控制任务 i 的执行强度^[11]。根据计算结果,确定当前控制任务的优先级,调整用户控制任务的执行顺序,实现控制任务的调度。

1.5 小型 PLC 智能控制模块控制算法设计

完成控制任务调度后,对小型 PLC 智能控制模块的控制算法进行设计,其具体流程如图 6 所示。

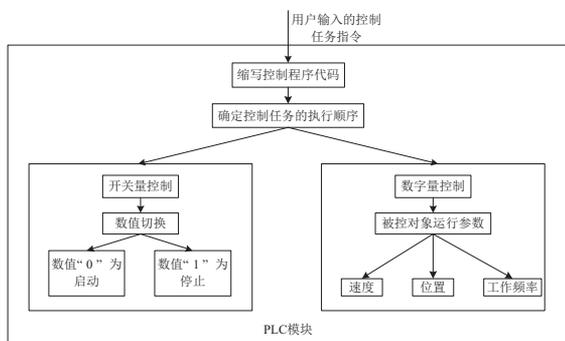


图 6 小型 PLC 智能控制模块的控制算法流程图

从开关量和数字量两个方面,实现小型 PLC 模块的智能控制功能。开关量控制过程也就是被控制对象启动或停止的控制过程,开关量取值为“0”或“1”。通过开关量数值的切换,实现被控对象工作状态的控制,而数字量的控制则是被控对象运行参数的控制,具体包括速度、位置以及工作频率等^[12]。在开关量的控制过程中,切换开关量取值并利用控制器驱动相应按钮,实现对开关量的控制。控制数字量需在 PLC 中将输入的控制信号的标度进行变换处理,标度变换过程为

$$y = y_0 + \frac{X - X_F}{X_V - X} M \quad (4)$$

式中: X 、 X_F 和 X_V 分别为控制信号的采样值及其上、下限; M 为被控对象的量程; y_0 和 y 对应的是控制参数的初始值和标称值。以速度参数控制任务为例,假设被控对象的实际速度值为 v_1 ,速度的控制目标为 v_a ,则加减速控制过程为

$$\begin{cases} \Delta = |v_1 - v_a| \\ a = \frac{v_1 - v_a}{t} \end{cases} \quad (5)$$

式中: Δ 为速度控制量; a 为加速值; t 为速度参数的控制时间。按照上述方式,可实现参数控制,若无其他控制指

令,输出 PLC 智能控制结果。

2 实验验证分析

以测试嵌入式小型 PLC 智能控制模块的应用效果为目的,设计验证实验,并通过与传统控制模块的对比,体现出优化设计模块在智能控制方面的性能优势。

2.1 实验准备

1) 控制对象

此次实验选择机械生产场景作为研究环境,选择机械工厂中 VMC855 和 STC50 型号的数控机床及其内部的自动加工机械设备作为控制对象。开始实验前,需确定准备的控制对象上安装的驱动设备正常运行。

2) 控制任务样本

根据本文小型 PLC 智能控制模块的构建结果,分别从开关量控制和数字量控制两个方面设置实验控制任务,其中部分控制任务的设置情况如表 1 所示。

表 1 控制任务样本设置表

控制任务编号	控制类型	控制内容
01	开关量控制	启动数控机床驱动设备
02	开关量控制	启动四刃立铣刀
03	开关量控制	关闭四刃立铣刀
04	数字量控制	铣刀切削速度提高至 80 r/min
05	数字量控制	驱动电机速度降低至 120 r/min
06	数字量控制	加工体位置移动至机床中心位置
07	数字量控制	铣刀位置移动至加工体左前端
08	数字量控制	立铣刀与平头铣刀的工作频率调整至 50 Hz

为保证实验结果可信度,设置控制任务样本数量共 800 个,平均分为 5 组,且每组控制任务内容均不相同。

3) 模块开发与运行环境

除 PLC 设备外,在实验环境中还需安装上位机设备,以显示小型 PLC 智能控制模块的智能控制效果。在上位机中配置 BorlandC++Builder 编程环境,支持 C++和 JAVA 两种编程语言,为编程任务提供软件支持。

2.2 调试嵌入式小型 PLC 设备

实验元件包含 TLP521 光电耦合器件、ATMEGA169 型嵌入式微处理器、线性光耦合器 HCNR200、MCS8051 型号单片机、编码器等。编写特定硬件环境的初始化代码及系统主要功能模块,使用预定义关键字编写主要实现代码,最后编写应用程序主代码。

完成初始化代码的编写、任务代码的创建后,执行任务调度程序。调度 800 个任务,运行结束后,成为一个新建的任务,并立即进入就绪状态,用该方法模拟繁重的系统应用任务。根据硬件优化结果,实现嵌入式小型 PLC 智能控制模块的设定,实现过程如图 7 所示。

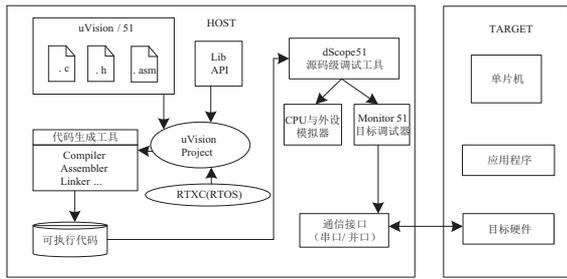


图 7 PLC 智能控制模块编码实现过程

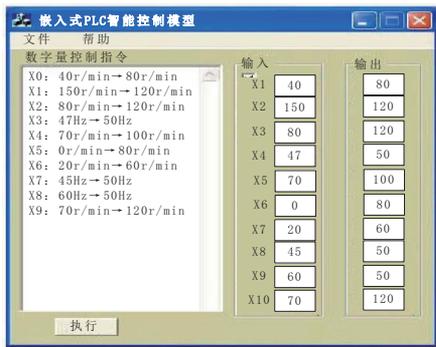
编译梯形图,把已编译的用户控制任务程序下载到 PLC 的内存中,由单片机以周期扫描方式读取、执行用户程序,实现预定的监控控制功能。若经过调试上位机界面能够输出预期结果,证明嵌入式小型 PLC 智能控制模块调试成功,可执行实验中的控制任务,否则需重新安装硬件和软件程序,直至输出预期界面。

2.3 实验验证过程

在构建并调试完成的基础上,以自动输入的方式逐条导入准备好的控制任务指令,利用 PLC 模块的编译功能将控制任务转换成控制进程。在硬件设备与软件程序的协同作用下,得出控制任务的执行结果。图 8 显示了 01 号开关量控制任务和 04 号数字量控制任务的输出结果。



(a) 开关量控制



(b) 数字量控制

图 8 嵌入式小型 PLC 智能控制模块输出结果

实验中设置传统的基于 Fuzzy-PID 双模的控制模块作为实验的对比模块,保证对比模块的运行环境与执行控制任务相同。为体现设计模块在控制效果方面的优势,分别设置开关量控制任务执行成功率、模拟量控制任务控制

误差和吞吐量 3 个指标为测试指标,其中控制任务的执行成功率的数值结果表示为

$$\eta_{switch} = \frac{N_{success}}{N_{switch}} \times 100\% \quad (6)$$

式中 $N_{success}$ 和 N_{switch} 分别表示模块成功执行的开关控制任务量和任务设置总量。模拟量控制任务的控制误差的数值结果表示为

$$\varepsilon_{number} = \sum |x_{target} - x_{control}| \quad (7)$$

式中 x_{target} 和 $x_{control}$ 对应的是目标参数值和实际控制值。最终计算得出 η_{switch} 的值越高、 ε_{number} 越小,证明对应模块的控制效果越好。吞吐量结果表示为

$$T_{ps} = \frac{n_{um_task}}{T} \quad (8)$$

式中: T 为时间; n_{um_task} 为模块并发处理的控制任务量。 T_{ps} 取值越大,相应模块的控制性能越高。

2.4 实验验证结果分析

通过对实时控制数据的读取,得出嵌入式小型 PLC 智能控制模块性能的测试结果,其中模块控制精度的量化测试结果如表 2 所示。

表 2 开关量控制任务测试数据表 单位:个

实验组别	开关量控制任务总量	基于 Fuzzy-PID 双模控制模块成功运行任务数量	优化设计智能控制模块成功运行任务数量
1	160	154	160
2	160	152	160
3	160	146	158
4	160	150	160
5	160	144	159

将表 2 中的数据代入式(6),可以得出两个控制模块开关量控制任务运行成功率的平均值分别为 93.25% 和 99.63%。模块数字量控制结果如表 3 所示。

表 3 数字量控制任务测试数据表 单位:个

控制任务编号	控制目标数值	基于 Fuzzy-PID 双模控制模块的控制结果	优化设计智能控制模块的控制结果
04	80	78	80
05	120	117	120
08	50	52	50
12	100	96	100
13	150	145	148

由于模块控制的参数单位不同,故控制误差的测试结果以数值方式表示。将表 3 数据代入到式(7)中得出两个模块平均控制误差分别为 3.2 和 0.4。综合开关量和数字量两种类型的控制任务,可确定优化设计的智能控制模块的控制效果更优。通过式(8)的计算得出模块吞吐量的测试结果,如图 9 所示。

(下转第 234 页)

参考文献:

- [1] 吕振华,李强,韩华春. 综合能源系统电-气互联环节的建模与仿真[J]. 科技通报,2021,37(2):75-80,85.
- [2] 仇钧,王荣历,方云辉,等. 含微电网供电的区域综合能源系统仿真研究[J]. 科技通报,2021,37(2):56-61.
- [3] 杨经纬,张宁,康重庆. 多能源网络的广义电路分析理论—(一)支路模型[J]. 电力系统自动化,2020,44(9):21-32.
- [4] 陈彬彬,孙宏斌,陈瑜玮,等. 综合能源系统分析的统一能路理论(一):气路[J]. 中国电机工程学报,2020,40(2):436-444.
- [5] FAVRE-PERROD P. A vision of future energy networks[C]//2005 IEEE Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa. Durban, South Africa: IEEE,2005:13-17.
- [6] CHICCO G, MANCARELLA P. Matrix modelling of small-scale trigeneration systems and application to operational optimization[J]. Energy,2009,34(3):261-273.
- [7] WANG Y, ZHANG N, KANG C Q, et al. Standardized matrix modeling of multiple energy systems[J]. IEEE Transactions on Smart Grid,2019,10(1):257-270.

- [8] WANG Y, CHENG J N, ZHANG N, et al. Automatic and linearized modeling of energy hub and its flexibility analysis[J]. Applied Energy,2018,211:705-714.
- [9] WANG Y, ZHANG N, ZHUO Z Y, et al. Mixed-integer linear programming-based optimal configuration planning for energy hub: starting from scratch[J]. Applied Energy,2018,210:1141-1150.
- [10] HUANG W J, ZHANG N, YANG J W, et al. Optimal configuration planning of multi-energy systems considering distributed renewable energy[J]. IEEE Transactions on Smart Grid,2019,10(2):1452-1464.
- [11] 刘小军,李进,曲勇,等. 冷热电三联供(CCHP)分布式能源系统建模综述[J]. 电网与清洁能源,2012,28(7):63-68.
- [12] 王珺,顾伟,陆帅,等. 结合热网模型的多区域综合能源系统协同规划[J]. 电力系统自动化,2016,40(15):17-24.
- [13] 丁水汀,段伦,韩树军,等. 冷热电联供系统运行模式优化[J]. 热科学与技术,2007,6(2):95-100.

收稿日期:2022-05-13

(上接第222页)

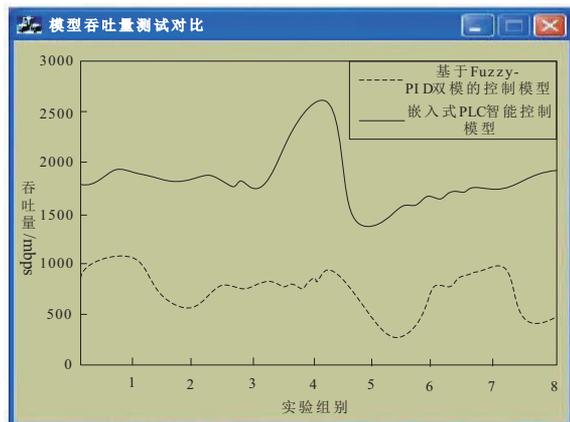


图9 嵌入式小型PLC智能控制模块吞吐量对比曲线

从图9中可以直观地看出,优化嵌入式小型PLC智能控制模块的吞吐量始终高于传统模块,即本文设计的模块在控制性能方面更加具有优势。

3 结语

在计算机网络快速发展的大背景下,PLC的控制技术也在不断地革新,并逐步完善。通过嵌入式技术的应用,有效地改善PLC的智能控制模块的性能和功能,为今后自动控制方面的推广应用打下良好的基础。

参考文献:

- [1] 史春笑. 基于嵌入式软PLC技术的智能控制器设计[J]. 计算机测量与控制,2020,28(4):126-130.
- [2] 朱伟,王虹,李首滨,等. 基于嵌入式软PLC的掘进机控制系统设计[J]. 工矿自动化,2020,46(2):100-106.
- [3] 高雁翔. 综掘设备嵌入式软PLC控制系统设计[J]. 煤矿机械,2020,41(7):174-178.
- [4] 徐啸. 嵌入式软PLC在煤矿控制系统中的应用[J]. 能源技术与管理,2020,45(4):181-182.
- [5] 张晨凯. 矿井带式输送机PLC智能控制系统[J]. 机械管理开发,2020,35(3):201-203.
- [6] 魏邦霞. 基于单片机的可编程控制器设计[J]. 电子测试,2020(5):131-132.
- [7] 王琪,吴少斌,高进可,等. 基于PLC的多层玻纤缠绕机控制系统的设计[J]. 机械制造与自动化,2020,49(6):182-185.
- [8] 覃尚活,郭乾,刘颖辉,等. 基于SMART PLC的工业机器人控制系统[J]. 机床与液压,2021,49(15):33-36.
- [9] 白克. 基于PLC和机器视觉的采摘机器人智能控制系统设计[J]. 农机化研究,2021,43(2):212-216.
- [10] 覃尚活,郭乾,刘颖辉,等. 基于SMART PLC的工业机器人控制系统[J]. 机床与液压,2021,49(15):33-36.
- [11] 李剑,王皖君. 基于PLC的发动机曲轴热锻智能控制系统设计[J]. 热加工工艺,2020,49(17):90-94.
- [12] 叶云洋,胡俊达. 基于Fuzzy-PID双模控制的磁悬浮转子系统控制器设计[J]. 电工技术,2020(12):15-16,19.

收稿日期:2022-06-07