

基于 PLC 的鸡舍智能喂料控制系统设计

裴著震 陈 为

(青岛科技大学 自动化与电子工程学院 青岛 266061)

摘要: 针对传统的层叠式鸡舍喂料设备下料不均匀、精准度低以及需要人工调整出料的问题。设计了一套基于可编程控制器(PLC)的鸡舍智能喂料控制系统,系统采用低压无刷伺服电机代替传统交流电机驱动行车行进,采用步进电机代替人工调节板控制各绞龙出料。首先介绍了系统组成,其次介绍了控制系统的硬件设计和软件设计,最后介绍养殖工艺设计以及控制系统实验测试。整个控制系统以出料控制 and 数据分析为核心,实现了九轴喂料以及生长参数分析功能,通过触摸屏实现了过程、数据可视化,最终形成了一套全自动化鸡舍智能喂料系统。此控制系统使设备的喂料精度提升到误差 10 g 以内,提高了饲料的均匀度,实现了鸡舍无人化养殖,为畜牧业的智能化发展提供了一种参考方法。

关键词: PLC;伺服电机;步进电机;触摸屏;数据分析;自动喂料

中图分类号: TN9 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 510.8060

Design of intelligent feeding control system for chicken house based on PLC

Xi Zhuzhen Chen Wei

(School of Automation and Electronic Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Aiming at the problems of uneven cutting, low accuracy and manual adjustment of discharge of traditional cascade chicken house feeding equipment, proposes a new method to solve the problem. This paper designs a chicken house intelligent feeding control system based on programmer logic controller(PLC). The system uses a low-voltage brushless servo motor instead of the traditional AC motor to drive the traveling crane, and uses a stepping motor instead of the manual adjustment board to control the auger discharge. This paper first introduces the composition of the system, then introduces the hardware design and software design of the control system, and finally introduces the breeding process design and the experimental test of the control system. The whole control system takes the discharge control and data analysis as the core, realizes the nine axis feeding and growth parameter analysis function, realizes the process and data visualization through the touch screen, and finally forms a set of fully automated intelligent feeding system for chicken house. This control system improves the feeding accuracy of the equipment to within 10 g, improves the feed uniformity, realizes the unmanned breeding in chicken house, and provides a reference method for the intelligent development of animal husbandry.

Keywords: PLC; servo motor; stepper motor; HMI; data fitting; automatic feeding

0 引言

如今随着技术的发展、农业自动化的发展,养殖业已经从个体养殖阶段发展到规模化养殖阶段,在规模化养殖方面,养殖设备的自动化、智能化是以后发展的一个趋势,对于我国的养殖行业的自动化改造,目前处在高速发展阶段^[1],实现对养殖设备的自动化控制是提高畜禽养殖智能化的一个重要基础^[2]。

目前,对于鸡的养殖业的养殖设备,普遍采用层叠式笼养设备,小规模养殖采用人工喂料即可满足要求,大规模化的养殖则采用喂料设备进行喂料。常见的喂料设备有链式、索盘式、弹簧式、跨笼式和行车式^[3],自动化设备有基于可编程控制器(programmable logic controller, PLC)设计的自走式鸡饲料喂料车^[4]和基于 PLC 设计的播种式自动喂料机。

PLC 技术广泛应用各行业,其可靠性强、抗干扰能力

强、逻辑编程简单等特点^[5],并且能够取代继电器执行逻辑、通信、定时等功能,建立灵活的可编程控制系统^[6],与单片机相比其更稳定和易于维护^[7],在农业和畜牧业都有比较广泛的应用如利用 PLC 技术开发采摘机器人实现水果的采摘^[8]、利用 PLC 技术开发猪饲料喂料线实现猪舍自动喂料^[9]。

RS485 通信是串口通信中常用的一种通信方式,该通信简单可靠,只需要连接两根线,使用 MODBUS 通信可以方便地实现与其他带有 RS485 接口设备通信^[10]。

对于层叠式养殖设备配置有行车式喂料设备,普遍采用交流电机驱动,绳拉式传动,方形漏斗投料,能够实现半自动化。但在实际应用中,此类设备存在着喂料不均匀、精确度低、需要人工调节出料挡板的问题,会直接影响动物的正常生长周期。

为解决上述存在的养殖设备出料问题,本文设计了一套以 PLC 为控制器,伺服电机和步进电机为执行设备的智能化下料设备。

伺服电机作为主轴带动行车运行,使喂料设备能够匀速运行;步进电机控制螺旋推出结构完成出料^[11],触摸屏实现人机交互,进行运行参数的设定和启动时间的设定,最终喂料设备实现了精准喂料且无人化养殖。

此系统在实际应用中,成功饲养了两批鸡龄为 3 月的蛋鸡,在实际养殖过程中完成了养殖工作,设备在实际运行中未对鸡的生长产生任何影响,整套系统运行稳定、下料均匀,并使喂料精准度在 0.01 kg 以内,解决了之前设备喂料不均匀、不精准的问题,达到了设计预期,从此喂料系统为鸡舍智能化养殖提供了一种控制解决方案。

1 系统构成

该系统主要由硬件系统以及软件系统两大部分构成。硬件系统主要介绍了硬件组成、选型以及整体设计方案和电机执行方案,软件系统主要介绍了行程标定、地址分配、程序设计以及数据分析。

1.1 硬件系统

硬件系统主要由 S7-200-Smart-PLC、伺服驱动器、伺服电机、步进驱动器、步进电机、接近开关、编码器、记米轮、触摸屏等组成。

控制器选用西门子 S7-200-Smart-PLC,该款 PLC 具有 1 个以太网接口和 1 个串口通信接口,集成 3 路高速脉冲输出,频率达到 100 kHz,支持 PTO 输出方式的运动模式^[12],本文系统需要接入 14 个数字量输入信号,因此选用 CPU 的型号为 ST30,其具有 18 个数字量输入信号。

电源采用 48 V 铅蓄电池组,铅蓄电池组充电方便、工作电压平稳、便于安装,采用电池替代 220 V 电源作为电源选择保证了人身安全。

由于采用低压电源供电,因此伺服系统选用低压无刷伺服系统,低压伺服同样具有快速的响应能力、可靠的稳

定性^[13]。

单台 200-Smart-PLC 只支持 3 路高速脉冲输出,若控制 8 台步进电机,需要选用 3 台 PLC,且需要三者同步,在硬件上会提高设备成本,因此系统选用支持串口通信的步进电机驱动器,从而采用 RS485 通信接口,基于 MODBUS_RTU 通信协议,PLC 作为主站,步进驱动作为从站,实现了一主八从的网络拓扑结构,从而既节省了控制器成本,也简化了控制方式。

此外由于采用了 RS485 通信,随着鸡舍的完善,PLC 也可通过 RS485 总线将内部数据传输给上位机即主控平台^[14]。

由于鸡舍湿度较大,对于饲料来说存在结块问题,从而导致出料轴发生堵转影响出料,因此系统对出料轴还需设置堵转检测功能,但步进电机属于开环控制,无法获得反馈,所以需要步进电机设置反馈装置,此系统采用磁铁式接近开关与圆形磁铁作为反馈装置,将圆形磁铁固定于联轴器,将接近开关固定于电机支架上方,通过实时检测开关信号,实现堵转检测功能。

在传统喂料设备上并不能按照实际喂养情况进行出料,选用编码器与记米轮进行实时行程采集,从而实现任意养殖设备的出料行程的测量,在触发出料功能上,也无需加装行程开关,采用行程触发方式即可实现出料,与行程开关相比更加灵活。

系统工业触摸屏来进行人机交互,触摸屏在自动化领域应用甚广,不仅实时进行运行监视而且还对喂料总量进行记录,与 PLC 通过以太网通信进行数据交互,与伺服驱动通过 485 通信进行速度采集。

如图 1 所示为系统硬件系统设计。

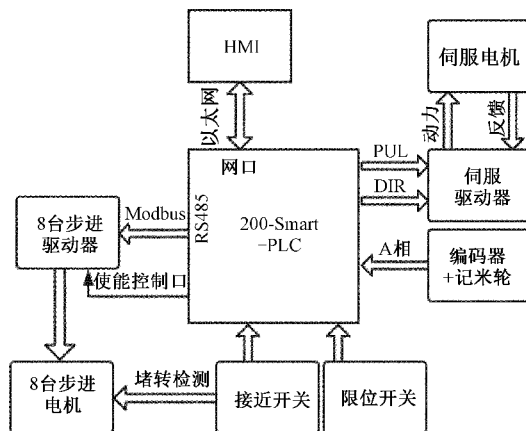


图 1 硬件系统

执行机构的稳定性是自动化设备的基本要求,设备的稳定性核心是电机的稳定运行,200-Smart-PLC 只具有 3 个高速脉冲输出口,而本系统需要控制 9 台电机,则需要 3 台 PLC,而且对于驱动器的接线问题,步驱信号大多限伏 5 V 即采用 PUL+DIR+串接回路电阻的接线方式,过于

复杂,且占用PLC输出点。

由于系统对于电机的实时性要求不高,因此采用支持串口通信型的步进驱动器是一种较脉冲控制更为合适的控制方式,MODBUS通信广泛应用于各行业,例如对变频器控制、对温控仪表控制从而实现各模拟量数据的采集与处理等^[15]。

选用串口通信型的步进驱动,在控制方式上使用PLC具有的RS485通信接口,MODBUS_RTU通信协议,采取一主八从的控制方式,只需给对应的步进驱动器发送指令即可控制其运行,这样既减少了PLC数量,也解决了接线复杂的问题,因考虑到在通信上存在的一旦掉线后,无法继续控制的问题,所以对于主轴的伺服电机则采用高速脉冲控制,保障了设备的运行可靠性。

如图2所示为执行系统设计。

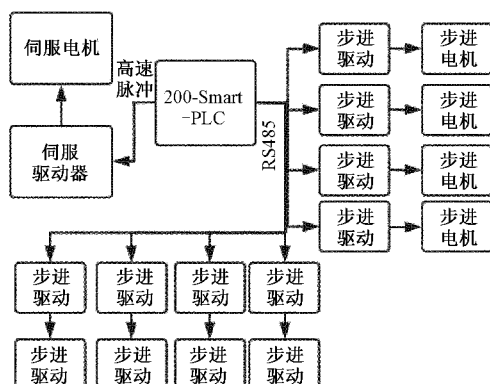


图2 执行系统

1.2 软件系统

软件系统由行程标定、数据分析、程序设计、算法设计组成,详细介绍了从执行机构标定到控制实现的功能。

1)行程标定

行车运行功能,采用高速脉冲控制伺服电机实现,利用PLC的运动控制功能,将Q0.0口配置为高速脉冲(PUL)输出口,Q0.6作为方向(DIR)控制。在使用伺服系统时,采用伺服的速度模式,由于采用链条传动,因此需要对伺服行程进行标定,标定方法采用记米轮实时行程进行测试标定,经过测试得出如表1所示的测试数据。

表1 减速机测试数据

减速机 减速比	轮行走1 m 电机圈数	轮直径/ mm	轮周长/ m	行走1 m 圈数
100	318.31	100.00	0.314	3.183

在PLC的运动组态中,需要配置电机的脉冲数来得到电机的最大转速,控制要求最大行驶速度在0.2 m/s,根据转速比可得到1 m对应伺服电机大约需要转300 r,驱动器默认脉冲数为10 000/r,则可以得到需要的脉冲频率为:

$$0.2 \times 300 \times 10\,000 = 600\,000 \text{ Hz} > 100\,000 \text{ Hz} \quad (1)$$

而PLC最高输出频率为100 kHz,因此需要降低驱动器的脉冲数来提高转速,因为此系统只需要保持速度稳定即可,对精度要求不高,所以降低脉冲数不会对系统产生精度影响。

步进出料功能,采用PLC的MODBUS通信指令功能块,步进驱动器支持PR路径模式,有速度模式、相对位置模式、绝对位置模式3种路径模式可供选择,可以使用PLC的MODBUS_MSG指令对驱动器进行写指令进行路径模式的配置、位置或速度写入、触发运行等操作。

距离启动功能,控制要求设备能够按距离启动,因此采用编码器与记米轮来进行距离的采集,并能够实时测量设备的实际行程,编码器的记米轮周长为30 cm,编码器的脉冲数为100个脉冲/30 cm,使用PLC的高速计数功能采集编码的单相脉冲数,再根据行车速度即可得出实时运行距离。

人机交互功能采用触摸屏实现,根据控制要求设计了3种控制模式分别是自动模式、手动模式、喂料记录。

自动模式:用于配置运行参数与启动时间。

手动模式:用于校准参数。

喂料记录:用于记录各出料轴出料总量。

2)控制器I/O地址分配

系统选用CPU型号为ST30的200-Smart-PLC,该款PLC具有18个DI点,12个DO点,完全满足此系统的控制要求,系统PLC的I/O地址如表2所示。

表2 PLC的I/O端口分配

端口	信号源	端口	信号源
I0.0	编码器A相	Q0.0	高速脉冲输出
I0.1	1号轴接近开关	Q0.4	伺服使能输出
I0.2	2号轴接近开关	Q0.5	步进使能输出
I0.3	3号轴接近开关	Q0.6	伺服换相输出
I0.4	4号轴接近开关	I1.2	终点限位
I0.5	5号轴接近开关	I1.3	启动按钮
I0.6	6号轴接近开关	I1.4	停止按钮
I0.7	7号轴接近开关	I1.5	急停按钮
I1.0	8号轴接近开关	I2.0	起点限位

3)程序设计

系统程序采用模块化设计,这使得程序结构清晰,调试方便,使用STEP 7-MicroWIN SMART软件对PLC控制器的控制策略进行设计^[16]和程序编写。

行车运行程序设计:采用高速脉冲指令的AXIS0_CTRL功能块对高速脉冲进行使能,然后使用AXIS0_MAN功能块,让电机以速度模式运行,并控制电机的启停。

步进出料程序设计:先使用MBUS_CTRL指令配置串口参数,然后使用MBUS_MSG指令对驱动器进行写指令

操作,由于驱动器本身是串口通信型的驱动,因此对其直接发送相应指令即可实时控制,步驱指令集如表 3~5 所示。

表 3 步驱速度模式指令集

功能	指令集
配置速度模式	01066200xxxxxxxx
设定速度	01066203xxxxxxxx
触发运行	0106600200xxxxxx

表 4 步驱相对位置模式指令集

功能	指令集
配置相对位置模式	01066200xxxxxxxx
设定位置高位	01066201xxxxxxxx
设定位置低位	01066002xxxxxxxx
设定速度	01066003xxxxxxxx
设定加速度	01066004xxxxxxxx
设定减速度	01066005xxxxxxxx
触发运行	0106600200xxxxxx

表 5 步驱绝对位置模式指令集

功能	指令集
配置相对位置模式	01066200xxxxxxxx
设定位置高位	01066201xxxxxxxx
设定位置低位	01066002xxxxxxxx
设定速度	01066003xxxxxxxx
设定加速度	01066004xxxxxxxx
设定减速度	01066005xxxxxxxx
触发运行	0106600200xxxxxx

通信故障程序设计:设置通信检测功能,采用实时读取电机电流值的方法,当读取失败时即为通信失败,触发停机。

距离程序设计:系统控制要求距离启动出料和记录实时行程,程序采用 PLC 的高速计数功能,通过编码器(单圈/100 个脉冲数)和记米轮(周长 0.3 m)作为测量装置,利用高速计数的方法,通过采集编码器的脉冲个数进行行程计算得出距离 X (单位为 m):

$$\frac{\text{脉冲数}}{100} \times 0.3 = X \quad (2)$$

由此可得实际行程,系统采用距离启动方式作为出料的信号,此种方式省去了限位信号触发拨料,在硬件上避免了因限位损坏而无法上料的情况,节省了硬件成本。

定时程序设计:对于鸡的养殖业,周期是比较长的,如果单使用人工的话成本会比较高,所以定时功能是必不可少的,根据养殖经验可得出,在鸡的养殖周期中,根据鸡的品种最多需要进行 6 次喂料,在定时功能上设置了时间校准功能以及输入定时时间功能。

4) 数据分析

在实际养殖过程中,根据大量的数据记录得出的养殖数据,通过这些数据可以拟合为某品种鸡的生长曲线,通过生长曲线可以得出天数、鸡的体重、喂食量的关系,这样就可以形成自动出料的算法。通过记录的养殖数据可以构造鸡的生长函数,在 PLC 中将相应的函数以程序的形式实现,再利用 PLC 中的获取时间程序即可实现自动出料算法,如表 6 所示为某品种鸡的天数与体重之间的生长函数。

表 6 某品种鸡生长函数

鸡龄(周)	生长函数(体重(G)、天数(t))
1	$G = 4t/7 + 68$
2	$G = 8(t-7)/7 + 121$
3	$G = 12(t-14)/7 + 184$
4	$G = 16(t-21)/7 + 257$
5	$G = 22(t-28)/7 + 349$
6	$G = 28(t-35)/7 + 446$
7	$G = 34(t-42)/7 + 543$
8	$G = 40(t-49)/7 + 650$
9~12	$G = 100(t+3.5) - 115$

由表 6 可以得出某品种鸡的体重参数,再根据体重参数喂食量关系构造喂食函数,下面给出了某品种鸡的体重与喂食量之间的生长函数,以及其生长函数曲线图如图 3~5 所示。

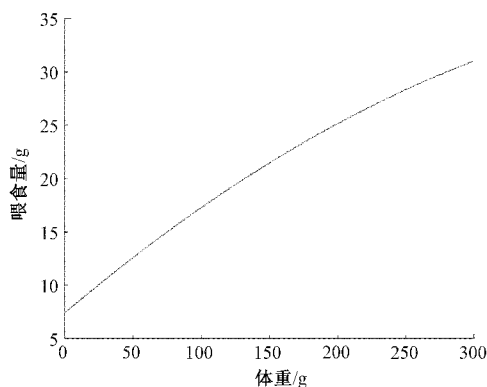


图 3 1~4 周喂食量曲线图

1~4 周喂食量函数:

$$g = -0.0001G^2 + 0.1088G + 7.3902 \quad (3)$$

5~8 周喂食量函数:

$$g = 0.035G + 22.588 \quad (4)$$

9~12 周喂食量函数:

$$g = 0.0476G + 12.909 \quad (5)$$

最终由定时自动得出天数,再根据生长函数与喂食量函数自动得出喂食量,达到自动喂料的功能。此方法可以高效替代人工喂料,既保证了喂料的准确度,使鸡能够以合适的生长曲线进行发育,又节省了人工成本。

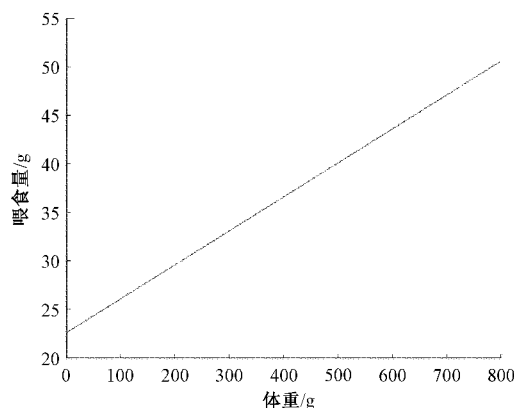


图4 5~8周喂食量曲线图

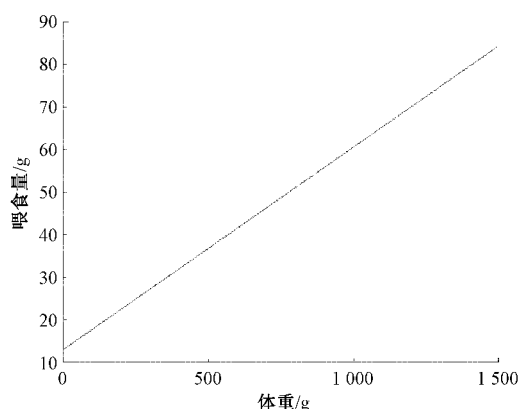


图5 9~12周喂食量曲线图

5) 控制算法设计

对于运动控制系统来说,电机的稳定运行是最重要的,电机一般具有速度模式、位置模式等,此系统伺服与步进电机全部采用速度模式,主轴控制要求匀速运行即可,对于步进出料轴控制要求根据相应的速度来控制喂食量,出料口采用绞龙式机械结构,在不同速度下单圈质量保持一致。

步进出料算法设计如下:

由主轴运行速度 V 可以得出运行时间 T :

$$T = \frac{L}{V} \quad (6)$$

由步进拨料单圈质量 m 可以得到其需要运行的圈数:

$$R = \frac{M}{m} \quad (7)$$

由圈数可以得到其实时转速:

$$r = \frac{R}{T} = \frac{M}{m} \times \frac{V}{L} \quad (8)$$

2 养殖工艺设计

根据养殖厂养殖习惯将整个工艺设计为3个模式分别为手动模式:用于手动校准数据等;自动模式:设置自动运行参数、运行时间等;喂料记录模式:用于记录每天的喂料量供用户查询。控制工艺流程如图6所示。

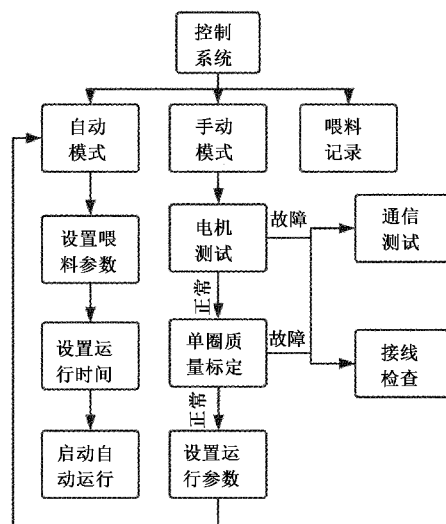


图6 工艺流程设计

3 系统实验测试

系统设计完毕以后,投入使用之前需要进行对系统进行可靠性、稳定性实验测试。

为测试系统绞龙结构的稳定性,使出料轴在不同速度下运行相同的圈数进行质量标定测试,提取了任一轴的测试数据,如表7、8所示。

表7 任一轴静态10圈测试质量(速度相同)

圈数/r	速度/(r·min ⁻¹)	质量/g
10	30	854.0
10	30	854.0
10	30	854.0
10	30	854.0
10	30	854.0

表8 任一轴静态10圈测试质量(速度不同)

圈数/r	速度/(r·min ⁻¹)	质量/g
10	20	854.0
10	30	854.0
10	40	854.0
10	50	854.0
10	60	854.0

下料轴稳定性测试数据分析:由表7、8实验数据可得,设备在同一速度下和不同速度下,在运行同样的10圈以后所下的物料是一致的,由此可得在下料轴的机械结构是稳定的。

为测试设备在静止与运行状态下的下料稳定性,在相同圈数下以不同速度进行运行测试,得到如表9所示测试数据。

表9 任一轴运行中10圈测试质量

圈数/r	速度/(r·min ⁻¹)	质量/g
10	10	855.2
10	20	855.4
10	30	854.5
10	40	854.0
10	50	854.3

设备静止与运行喂料实验测试分析:由表8、9实验数据对比可得,设备在静止状态下下料是比较稳定的,而在运行过程中存在不稳定情况,这是因为在运行过程中各机械结构因摩擦等因素会使整个料车在运行过程中轻微晃动而对实际出料量产生少许的影响对于喂料系统来说,系统预期误差是在10g以内,实验过程中微晃动而对实际出料量产生少许的影响,对于喂料系统来说,系统预期误差是在10g以内,实验过程中误差在10g以内浮动,从而证明该系统在误差方面已经满足养殖要求。

在鸡舍中,由于鸡笼采用循环下料,采用接近开关并不适用于下料信号,因此采用距离信号作为下料信号。在此系统中实际行程是一个重要的参数,一方面可以根据行程进行计算上料量,另一方面可以根据距离精确的进行下料,因此需要对运行距离进行初始测试与标定,采用编码器与记米轮实现距离采集功能,测试采用不同速度下运行距离采集稳定性测试,数据如表10所示。

表10 行程测试

运行速度/(m·s ⁻¹)	实时行程/m	实际距离/m
0.11	86.7	86.7
0.21	86.7	86.7
0.31	86.7	86.7
0.41	86.7	86.7
0.51	86.7	86.7

距离采集实验测试分析:在不同速度运行下该设备采集的距离与实际距离一致,从而验证了行程功能非常稳定并保证的下料距离的稳定,达到预期的功能。

4 结 论

随着科技的不断发展,养殖业也在向智能化快速发展,由于传统喂料设备的不足开始凸显,不再满足当前行业所需的功能,本文设计的控制系统不仅解决了传统喂料设备的喂料不均匀的问题,提高了喂料精度和均匀度,而且还为其他类型喂料设备提供了一种解决方案,并可以对接主控系统,为养殖行业提供了一种智能化的解决方案,节省了人工成本,有效地提高了畜牧业养殖效率。

参考文献

[1] 张飞云,张鹏.基于PLC和组态王6.55的智能鸡舍监

控系统[J].许昌学院学报,2017,36(5):58-61.

- [2] 江坤,潘立武.基于Android的蛋鸡养殖系统设计与实现[J].现代电子技术,2016,39(2):33-35.
- [3] 丁会茗,杨梅,刁美慧,等.播种式自动喂料机的设计研究[J].林业机械与木工设备,2019,47(7):35-37.
- [4] 张吉营.9JL-3型白走式鸡饲料自动喂料车研制与开发[J].农业机械,2020(2):119-120.
- [5] 李海芹,姜印平,翟阳,等.基于S7-200 SMARTPLC的智能药品包装机的控制设计[J].制造业自动化,2013,35(19):47-50.
- [6] JIANG D H, SHAO D W, WU G F. The study on electrical control system of machine for supplementing the traditional chinese medicinal pills based on PLC [C]. Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2011:878-880.
- [7] 刘巧,王磊.基于小型PLC的智能棉花采摘控制系统设计[J].现代电子技术,2018,41(14):37-40.
- [8] 姜光,姜久超,李爱宁,等.基于PLC的农业机器人电气控制系统设计[J].农机化研究,2022,44(2):219-223.
- [9] 易烈运,罗细芽,彭安,等.基于PLC智能自动化生猪饲喂系统的研究设计[J].中国农机化学报,2017,38(3):58-61.
- [10] 牛志斌,陈建国,刘德伟,等.PLC与多台变频器Modbus通信实例[J].金属加工(冷加工),2020(2):63-65.
- [11] 陈冠定,陈银清,郑泽钿,等.规模化禽畜饲养智能喂料系统的设计[J].机械制造,2020,58(7):62-64,70.
- [12] 刘凯.基于S7-200 Smart PLC的三轴定位系统的步进电机伺服控制设计[J].电子技术与软件工程,2018(6):143-144.
- [13] 张强,李正丽,葛俊佐.低压伺服驱动器设计及其在移动通信系统上的应用[J].兵工自动化,2019,38(1):30-33.
- [14] 张宏伟,解应博.基于PLC的多参数监测控制系统设计[J].电子测量技术,2017,40(9):246-251.
- [15] 鲁明祥.基于PLC与欧陆表的温度控制系统设计[J].电子测量技术,2019,42(1):49-53.
- [16] 郭敏,占君,庄信武.基于PLC的除湿机控制和调试系统设计[J].国外电子测量技术,2018,37(1):60-63.

作者简介

裘著震(通信作者),在读硕士,主要研究方向为运动控制、机器视觉。

E-mail:1441148952@qq.com

陈为,工学博士,副教授,主要研究方向为自动化生产线和机电一体化系统等方面的理论和应用研究、现场总线技术的开发、工业机器人应用等。

E-mail:673829610@qq.com