

基于 PLC 的全自动给袋式包装机称量控制系统研究

任少伟¹, 杨传民¹, 孟祥飞²

(1.天津商业大学, 天津 300134; 2.河北工业大学, 天津 300131)

摘要: **目的** 针对给袋式包装机称量控制系统中由于物料与电磁振动给料机的振动存在一定非线性与时变性的缺点, 提出一种基于 PLC 的模糊 PID 称量控制系统。**方法** 基于 PLC 的特点设计一种基于 PLC 的模糊 PID 控制方法, 将称量误差与误差变化率作为系统的输入, 采用西门子 S7-200 系列 PLC 对称量系统模糊 PID 控制策略的实现进行分析设计, 实现对 PID 3 个参数的实时改变; 基于 Matlab 对控制系统进行仿真分析, 并通过联机运行以验证控制效果。**结果** 给袋式包装机称量系统的计量偏差不超过 0.5%, 且仿真结果表明模糊 PID 较传统 PID 的控制效果更好。**结论** 基于 PLC 的包装机称量系统模糊 PID 控制系统实际控制稳定, 具有很强的鲁棒性, 提高了包装机称量过程的稳定性和称量精度, 其精度控制为 0.5% 左右。

关键词: PLC; 给袋式包装机; 控制系统; 模糊 PID

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)03-0162-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.03.024

Weighing Control System of Fully Automatic Bag-delivering Packaging Machine Based on PLC

REN Shao-wei¹, YANG Chuan-min¹, MENG Xiang-fei²

(1.Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China; 2.Hebei University of Technology, Tianjin 300131, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a fuzzy PID weighing control system based on PLC to solve the problem of non-linearity and time variability in the weighing control system of bag-delivering packaging machine due to the vibration of materials and electromagnetic vibrating feeders. Based on the characteristics of PLC, a fuzzy PID control method based on PLC was designed. Weighing error and error change rate were used as system inputs. Siemens S7-200 series PLC was used to analyze and design the implementation of fuzzy PID control strategy for the weighing system and realize real-time change of three PID parameters. The control system was simulated and analyzed based on Matlab, and the control effect was verified through online operation. The measurement deviation of the weighing system of the bag-delivering packaging machine was less than 0.5%, and the simulation results showed that the fuzzy PID control effect was better than the traditional PID control effect. The fuzzy PID control system of the packaging machine weighing system based on PLC has stable actual control and strong robustness, which improves the stability and weighing accuracy of the packaging machine weighing process; and its precision control is about 0.5%.

KEY WORDS: PLC; bag-delivering packaging machine; control system; fuzzy PID

收稿日期: 2018-07-09

基金项目: 天津市自然科学基金重点项目 (15JCZDJC34100); “十二五”国家科技支撑计划 (2012BAD32B04)。

作者简介: 任少伟 (1992—), 男, 天津商业大学硕士生, 主攻包装机械和包装材料。

通信作者: 杨传民 (1959—), 男, 天津商业大学教授、博导, 主要研究方向为包装机械和包装材料。

可编程逻辑控制器 (PLC) 作为一种通用控制装置, 已经广泛应用于各个领域, 这其中就包括包装机械。给袋式包装机是一种全自动的包装生产装置, 其可以同时进行多工位生产将称量好的物料投放到包装袋中, 大大提高包装速度。包装行业普遍采用电磁振动给料装置实现物料的补给, 但由于物料与给料机之间存在非线性与时变性的特点, 这使得包装称量精度存在一定的误差^[1]。传统的包装机称量系统的精度在 $\pm 3\%$ 范围内, 如何在提高包装速度的同时提高精度已成为行业研究的热门之一^[2]。

给袋式包装机根据系统设定质量, 实时对物料进行称量与修正, 实现包装机对物料的准确控制^[3]。为了进一步提高包装机称量系统的控制精度, 采用以包装物料为研究对象, 将模糊控制与 PID 控制相结合, 提出模糊 PID 控制。将 PLC 控制技术与模糊 PID 控制融合, 利用 PLC 实现对包装机称量系统的模糊 PID 控制^[4]。这样的控制方式既保留了 PLC 控制系统可靠性高、适应性强的特点又加入了模糊 PID 对非线性系统具有良好控制效果的特点, 大大提高了控制系统的智能化, 是当今控制系统的发展趋势。

1 包装机称量系统的模糊 PID 控制设计

国内包装机称量系统普遍采用传统 PID 控制, 因为传统 PID 发展时间久, 其理论基础深厚, 在普通控制中具有较好的控制效果, 传统 PID 控制结构见图 1。传统 PID 控制常出现在线性系统的控制中, 它将输入信号与输出信号进行比较得到控制偏差, 对该偏差进行比例、积分和微分共同运算后输出到控制对象中, 使输入输出之间偏差缩小。S7-200PLC 中通常利用 PLC 自带的 PID 控制指令模块来实现 PID 控制, 由于 PLC 也是通过其 CPU 进行数据处理, 故只能处理数字量, 这就要求将采集到的信号进行模数转化^[5]。

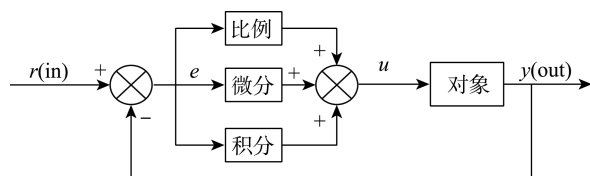


图 1 传统 PID 控制结构
Fig.1 Traditional PID control structure

模糊控制器工作基本原理是将输入的数字信号经过模糊化变成模糊量, 送入含有模糊规则的模糊推理模块, 经过近似的推理得出结论, 然后被清晰化模块变成清晰量, 再输出到下一级去调节被控对象, 使其输出满意结果^[6]。

采用最基本的二维模糊控制结构, 因为其结构简单、应用广泛, 所以最具有代表性, 适用于复杂系统。模糊自适应 PID 控制器以 e 和 e_c 作为输入, 其中 e ,

e_c 分别为每次称量的实际量与设定值的偏差以及偏差变化率, 利用模糊控制规则在线对 PID 参数进行修改, 其结构见图 2, 利用 PLC 的 PID 指令可调用该指令执行 PID 控制。

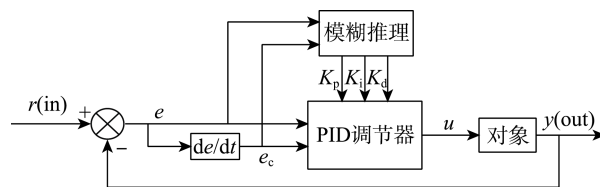


图 2 模糊自适应 PID 控制器结构
Fig.2 Fuzzy adaptive PID control structure

2 称量控制系统的参数整定模糊 PID 控制算法

2.1 输入、输出量的模糊分布

为使实时输入的变量清晰值都能够得到合理的模糊化, 需要确定覆盖在模糊论域上的模糊子集数目, 在确定各子集的模糊隶属函数这个过程称为进行模糊分布。覆盖模糊论域的模糊子集数目要适当, 一般来说数目越多控制的精度相应会更高, 但是所需要的计算量却大, 造成响应时间的延长。根据运算性与经验一般取数目为 3~10 个, 模糊子集的分布应具备完备性、一致性与交互性。文中根据控制精度将输入、输出变量划分为 7 个等级, 系统设计误差 e 的实际论域为 $[-0.5 \text{ g}, 0.5 \text{ g}]$, 将其量化到模糊论域为 $\{-3, 3\}$ 中, 其相应子集意义为 $\{B(\text{负大}), V(\text{负中}), S(\text{负小}), O(\text{零}), X(\text{正小}), Z(\text{正中}), D(\text{正大})\}$, 输出变量 K_p, K_i, K_d 三者分别量化到论域为 $\{0, 0.6\}$, $\{0, 0.12\}$, $\{0, 6\}$ 中, 语言值同上。

一般模糊子集的隶属函数应该是连续函数, Matlab 中提供 5 种不同类型的基本隶属函数, 文中根据工程需要与经验操作选取三角形隶属函数。此外 2 个模糊子集的隶属度函数发生交叉时, 交叉点处的隶属度值应选取合适^[7], 因为取值较大, 系统的稳定性会有所提高, 但会使得其灵敏度变差; 反之会使系统不稳定, 模糊性变差。综合考虑取 0.2~0.7 为宜, 输入、输出量的隶属度函数见图 3。

2.2 模糊控制规则的建立

模糊 PID 控制是找出 PID 3 个参数与 e 和 e_c 之间的模糊关系, 在运行中通过不断地检测偏差和偏差变化率, 根据控制原理对 3 个参数进行在线修改, 以满足不同情况下对控制的不同要求, 从而使被控对象具有良好的动静态性能。

根据参数对系统输出特性的影响情况, 可归纳出系统在被控过程中对于不同的偏差 e 和偏差变化率

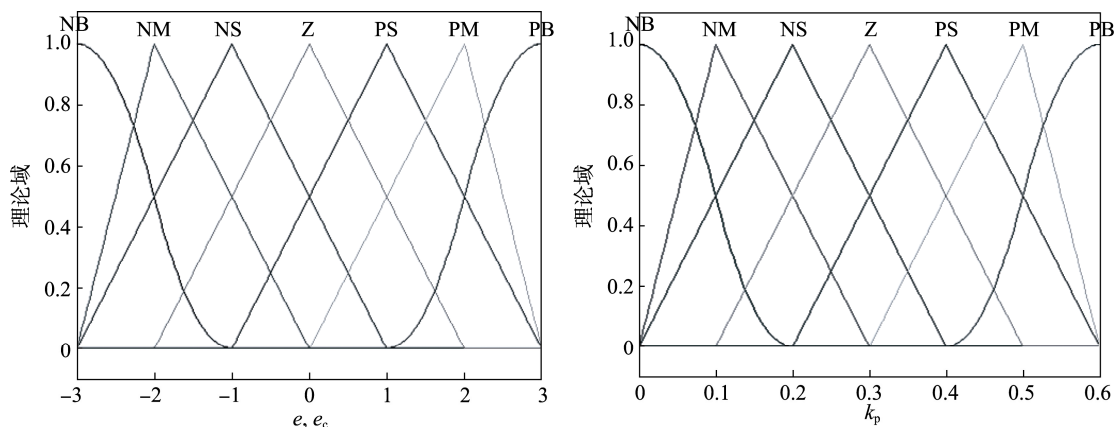


图 3 输入、输出量隶属度函数
Fig.3 Membership function of input and output

e_c , 偏差 e 的论域为 {B,V,S,O,X,Z,D}, 偏差变化率 e_c 的论域为 {B,V,S,O,X,Z,D}, 参数的自整定原则如下所述^[8—10]。

当系统偏差较大时, 选取较大的比例系数和较小的微分系数, 同时为了防止积分饱和, 避免系统响应出现较大超调, 积分环节取值为 0。

当偏差与偏差变化率为中等大小时, 3 个参数都不能太大且积分环节取较小值, 比例与微分环节的取值要适中, 以保证系统的响应速度。

当系统偏差较小时, 为使控制系统具有良好的稳态性能, 应将比例与积分环节系数提高, 同时为了避免系统在设定值附近震荡, 并考虑系统的抗干扰性能, 选取中等大小的微分系数。

综上所述, 想要将控制系统的各项性能发挥出色, 使系统输出稳态精度高且响应速度快, 需要充分考虑比例、积分与微分 3 个参数, 才能保证系统的动静态性能。综合考虑不同状态下 3 个参数的作用以及之间的耦合关系, 得出参数自适应控制规则见表 1。表 1 中从左到右分别是 K_p , K_i , K_d 的模糊控制规则。

表 1 模糊 PID 控制规则
Tab.1 Rules of fuzzy PID control

e	e_c						
	B	V	S	O	X	Z	D
B	D/B/X	D/B/X	Z/V/B	X/V/B	X/S/B	O/O/V	O/O/X
V	D/B/X	D/B/S	Z/V/B	X/S/V	X/S/V	O/O/S	S/O/O
S	Z/B/O	Z/V/S	Z/V/S	X/S/O	O/O/S	S/X/S	V/X/O
O	Z/S/O	Z/S/S	X/S/S	O/O/S	S/X/V	V/Z/S	S/Z/O
X	X/V/O	X/S/O	O/O/O	O/X/S	S/X/O	V/Z/O	B/D/O
Z	X/O/D	O/O/S	S/X/S	V/X/V	V/Z/X	B/D/X	B/D/D
D	O/O/D	O/O/Z	S/X/V	V/X/V	B/Z/X	B/D/X	B/D/D

对于建立好的模糊控制规则其所包含的所有规则都可以通过模糊数学基础求出其模糊子矩阵, 一个完整控制规则各部分子矩阵联立求解又可以得到

控制系统总的模糊矩阵^[11]。利用 Matlab 数学软件中的 Fuzzy Logic Toolbox 可以离线生成模糊控制查询表。

3 模糊 PID 控制器在 PLC 中的实现

模糊 PID 控制器在 PLC 中的实现方式主要有 2 种: 一种通过控制公司为模糊控制开发的专用硬件设备实现在 PLC 中的运行, 这种控制通过模糊控制芯片实现, 但这种控制方式价格昂贵, 需要专用的编程设备, 通用性差^[12]; 另一种是通过软件实现的, 如西门子公司开发的 ProFuzzy tool, 同样该软件成本昂贵, 会增加设备成本。

文中采用通过 PLC 自身编程软件 STEP7 软件将模糊 PID 控制编程为一个 PLC 控制程序的一个用户子程序, 将模糊控制规则存进 PLC 的内存中^[13]。在实时控制中, 该控制将采样得到的输入量数据量化到设定好的模糊论域中, 在根据量化后得到的元素, 查出控制量的具体值, 最后输出到控制系统。

3.1 程序设计流程

给袋式包装机称量系统模糊 PID 控制的 PLC 程序设计主要有输入量的模糊化、模糊规则查询、输出模糊化和参数 PID 控制 4 分部, 模糊控制算法流程见图 4。首先将量化因子存于 PLC 中, 经过采样后将系统偏差以及偏差变化率寄存在 PLC 数据寄存器中^[14]; 通过模糊控制规则表获得其输出参数数据, 寄存在 PLC 中; 最后将控制参数输入到 PID 控制中实现对参数的实时控制。

3.2 模糊 PID 控制的 PLC 程序设计

该次设计的控制系统采用西门子 S7-200 系列 PLC 外置模拟量输入模块 EM235, 将称量传感器得到的信号输入 PLC 中, 该模块可以将传感器所得信号转换成 (0~32 000) 之间的数字量。由此可将系统设计偏差转换成 (-32~32), 为简化编程将其取绝对

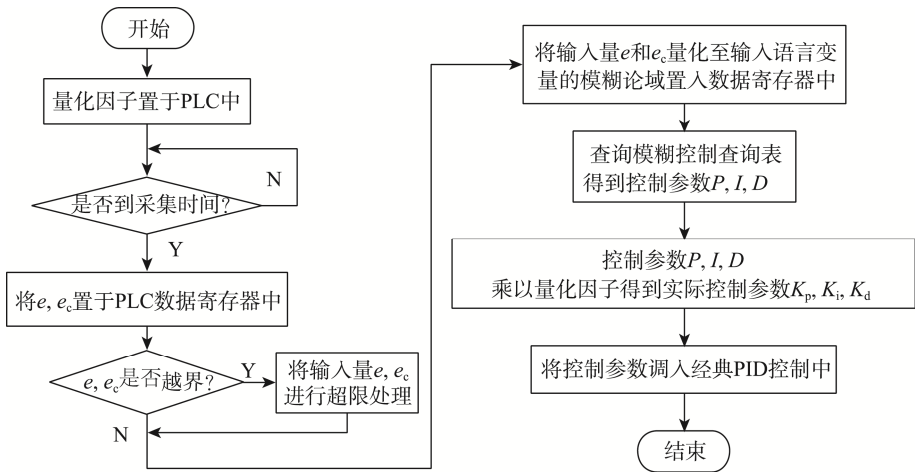


图 4 模糊控制算法流程
Fig.4 Flow chart of fuzzy control algorithm

值变为 (0~32) 由此得到量化因子为 3/16。按照图 5 设计流程, 设计该控制程序。

利用 PLC 存储空间中的全局变量存储器, 将预置期望质量放入 VD104, 分配 K_p , K_i , K_d 在全局变量存储器中的地址, 文中分别选用 VB20~VB68, VB69~VB117, VB118~VB166 作为上述 3 个参数的存储地址。该 3 个参数的控制输出量分别放入 VB167, VB168 和 VB169 中, 根据系统控制要求 3 个参数最初数值为 $K_p=0.6$, $K_i=0.0$, $K_d=1.5$, 在 PLC 控制中可以直接调用 PID 控制, 选择 PID 控制回路号为 0, 起始地址选用 VB100。由于篇幅所限仅以部分程序为例, 模糊控制主程序见图 5, 模糊查询表控制程序见图 6。

模糊查询表控制程序仅以比例环节为例, 扫描程序时, SM0.0 始终为高电平, 所取模糊量化等级为 7 级, 据此计算出比例系数 K_p 的地址, 放入累加器 AC1 中, 将指针所指 K_p 输出值存入 VB167 中, 以备后续程序调用。

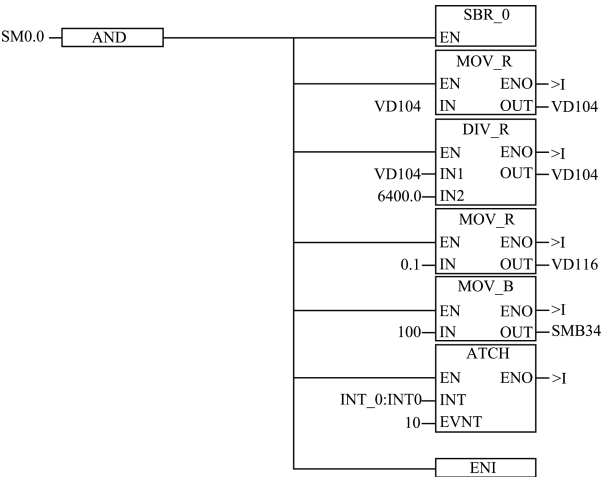


图 5 模糊控制主程序
Fig.5 Main program of fuzzy control

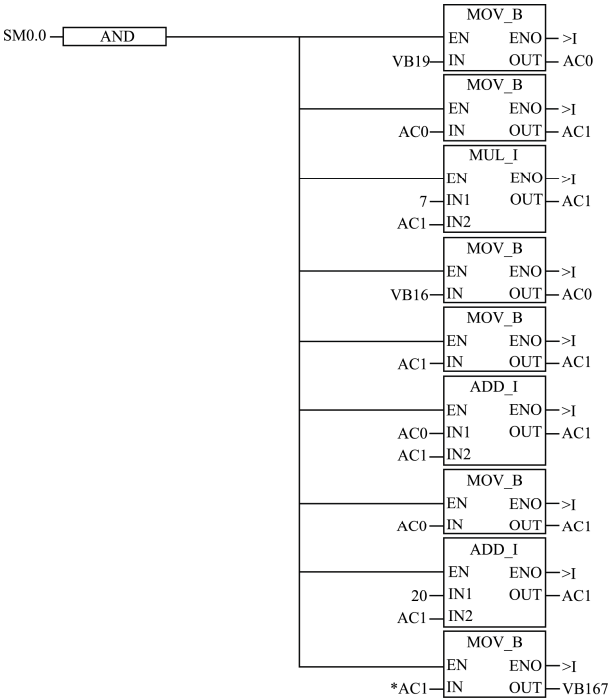


图 6 比例环节模糊控制查询程序
Fig.6 Fuzzy control query program of proportional element

4 包装机实验

利用 Matlab 数学仿真软件在软件中输入 fuzzy 进行模糊控制器的编辑, 确定一个二输入三输出的二维模糊控制器, 编辑界面中的参数选择 FIS 控制器类型为 Mamdani, 解模糊方法采用重心法, 推理规则选择最小法, 合成规则选择最大法^[15]。编辑输入输出变量的隶属函数将上述控制规则输入到控制器中, 见图 7。

使用 Matlab 中提供的 Simulink 仿真模拟器进行

仿真实验,对比传统PID和模糊PID控制的控制效果分别建立各自的仿真模型,见图8。

Simulink 仿真模拟中二输入三输出模块内部模型见图9,其为模糊控制核心模型。

经过Matlab 仿真结果见图10,其中虚线为实际响应曲线,对比2种不同的控制方法可以看出传统PID控制下的系统超调量在不断上下变化,最后趋于稳定,达到稳态所需时间长,且参数不能改变;模糊自适应PID控制下的系统超调量很小甚至没有,响应时间较传统PID要快。

仿真完成后对包装机称量系统进行运行调试。以100 g/袋为实验基础进行称量精度的实验。100 g时称量数据情况见表2。目标质量所对应偏差的分布折线见图11。

经过以上实验分析可以得知,包装机称量系统的精度在 $\pm 0.5\%$ 范围内。给袋式包装机生产线的运行情况良好,改良的称量系统工作稳定、精度好,满足包装要求。

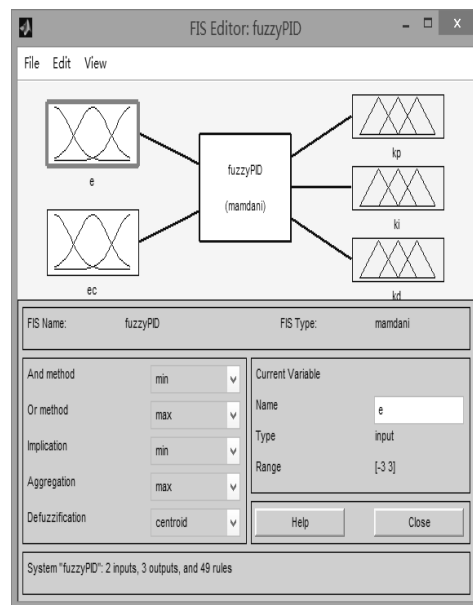


图7 模糊控制编辑器
Fig.7 Editor of fuzzy control

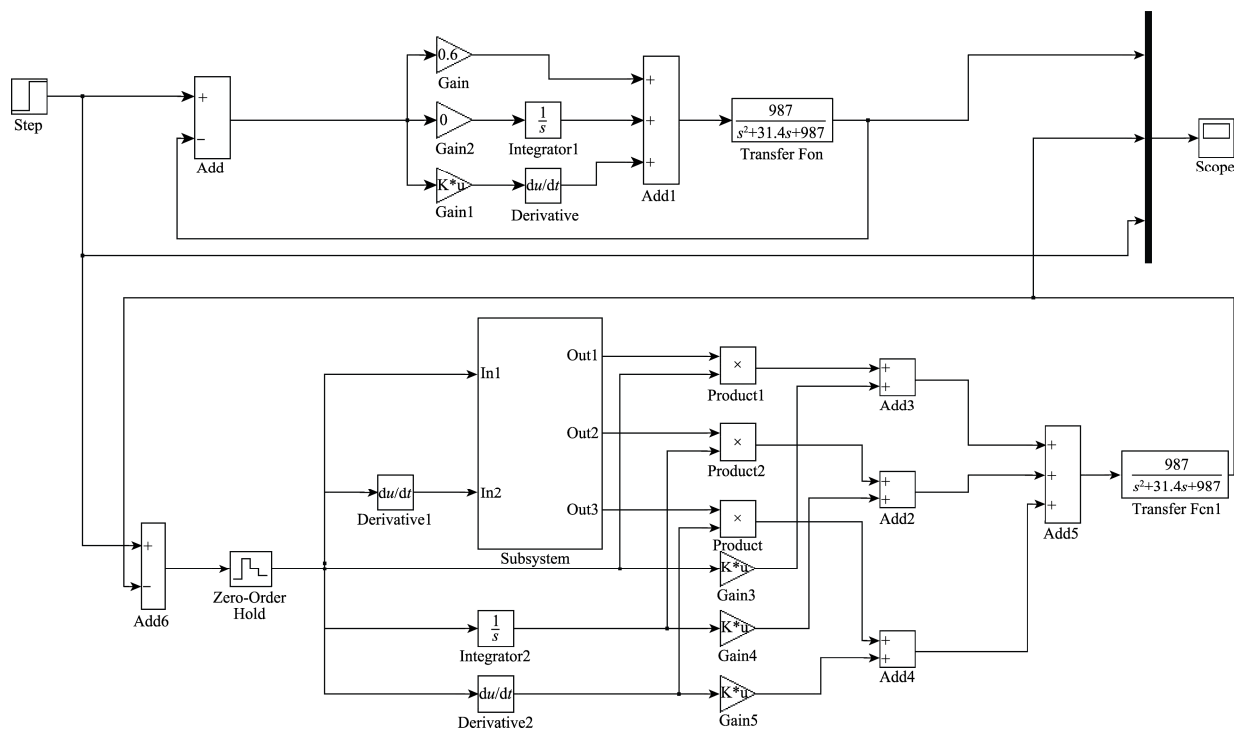


图8 模糊PID控制仿真模型
Fig.8 Simulation model of fuzzy PID control

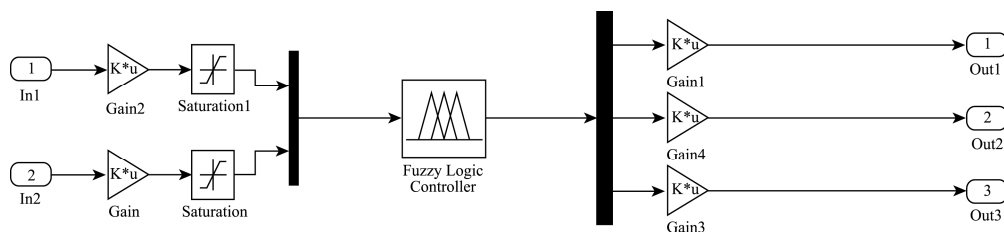


图9 二输入三输出控制仿真模型
Fig.9 Two-input and three-output control simulation model

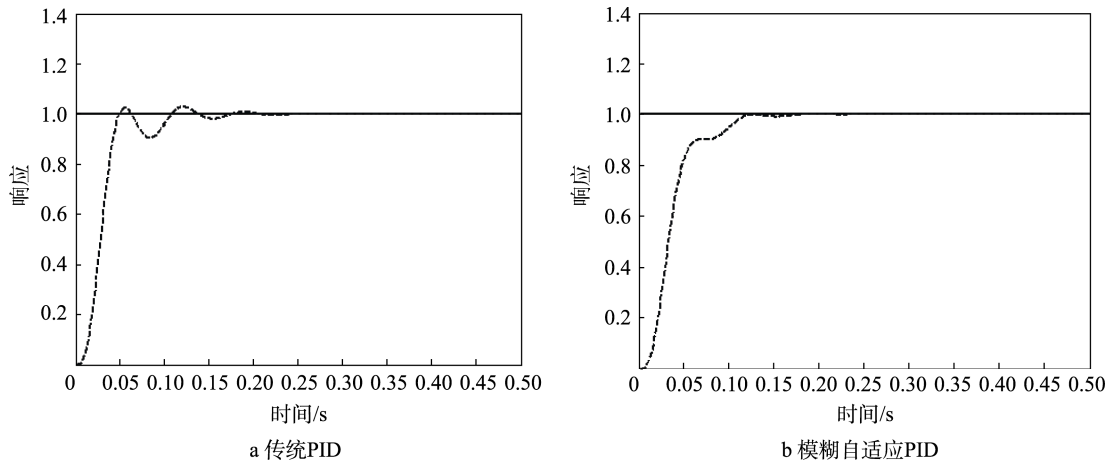


图 10 传统 PID 与模糊自适应 PID 系统响应曲线
Fig.10 Traditional PID and fuzzy adaptive PID system response curves

表 2 目标质量为 100 g 时的实验数据
Tab.2 Experimental data at target weight of 100 g

序号	实际质量/g	偏差值/g	精度/%
01	100.25	-0.25	0.25
02	099.98	+0.02	0.02
03	100.49	+0.49	0.49
04	099.65	-0.35	0.35
05	099.50	-0.50	0.50
06	100.38	+0.38	0.38
07	100.47	+0.47	0.47
08	099.56	-0.44	0.44
09	099.62	-0.38	0.38
10	100.41	+0.41	0.41

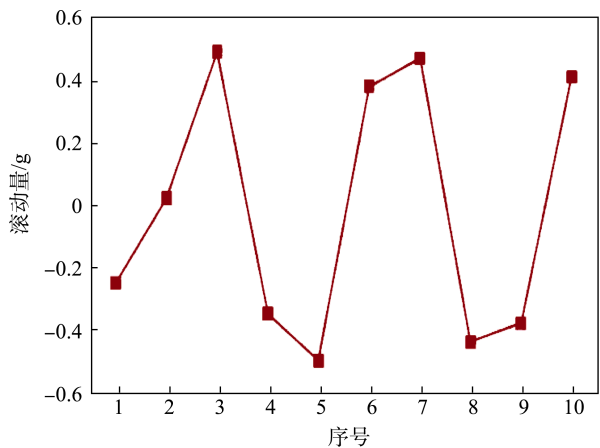


图 11 目标质量为 100 g 时的偏差分布
Fig.11 Deviation distribution at target weight of 100 g

5 结语

为了进一步提高给袋式包装机称量系统精度，文中对其控制系统进行研究分析，将模糊控制与 PID 控制相结合，提出基于传统 PID 的模糊控制。通过 PLC 强大的控制效果、编程能力实现模糊 PID 控制系统在

包装机称量系统中的控制实现。实验结果表明，改进后的控制系统具有较好的鲁棒性，系统超调小，称量精度控制在 $\pm 0.5\%$ 左右，较好地满足了包装机精准计量的要求。同时文中忽略了外界环境对控制对象的影响，控制规则是在前人实验的基础上进行的再次加工，故控制效果可能存在不足。

参考文献：

[1] 于雷. 电磁振动给料机特性分析与仿真控制[D]. 南宁: 广西大学, 2008.
YU Lei. Characteric Analysis and Simulation Control of Electromagnetic Vibration Feeder[D]. Nanning: Guangxi university, 2008.

[2] YANG C M, LIU M Y, WANG H, et al. Kinematic Analysis of Bag-picking Mechanism in Automatic Bag-delivering Packaging Machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(S2): 161—166.

[3] 王红. 智能全自动称重包装系统控制研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2014.
WANG Hong. The Research of Intelligent Automation Weighing and Packing System Control[D]. Yangzhou: Yang Zhou university, 2014.

[4] 董金善, 袁士豪, 顾伯勤, 等. 高压超临界萃取装置的模糊 PID 控制方法[J]. 控制工程, 2011, 18(2): 228—231.
DONG Jin-shan, YUAN Shi-hao, GU Bo-qin, et al. Fuzzy-PID Control of High Pressure Supercritical Fluid Extraction Equipment[J]. Control Engineering of China, 2011, 18(2): 228—231.

[5] 郭桃妹, 应富强. 基于模糊控制的挤压铸造模温控制系统研究[J]. 机电工程, 2010, 27(11): 36—39.
GUO Tao-mei, YING Fu-qiang. Study of Squeeze Casting Die Temperature Control System Based on Fuzzy Control[J]. Journal of Mechanical and Electrical Engineering, 2010, 27(11): 26—39.

- [6] 石辛民, 郝整清. 模糊控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
SHI Xin-min, HAO Zheng-qing. Fuzzy Control and MATLAB Simulation[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
- [7] 王凌, 刘卫国. 基于模糊 PI 控制的无刷直流电机调速系统仿真[J]. 计算机仿真, 2009, 44(10): 186—189.
WANG Ling, LIU Wei-guo. Simulation of Blacm Speed Control System Based on Fuzzy-PI Control Method[J]. Computer Simulation, 2009, 44(10): 186—189.
- [8] 刘慧博, 王静, 吴彦合. 无刷直流电机模糊自适应 PID 控制研究与仿真[J]. 控制工程, 2014, 21(4): 583—587.
LIU Hui-bo, WANG Jing, WU Yan-he. Study and Simulation of Fuzzy Adaptive PID Control of Brushless DC Motor[J]. Control Engineering of China, 2014, 21(4): 583—587.
- [9] DZAMPO G, MUMINOVIC H N. Indoor Temperature Regulation on Small Scale Model Using Matlab-based Regulators[J]. Mipro International Convention, 2011(5): 1718—1722.
- [10] 董金善, 袁士豪. 基于 S7-200 的超临界萃取参数的模糊 PID 控制[J]. 微计算机信息, 2009, 25(19): 32—33.
DONG Jin-shan, YUAN Shi-hao. Fuzzy PID Control of Supercritical Extraction Based on S7-200[J]. Microcomputer Information, 2009, 25(19): 32—33.
- [11] 王飞. 模糊 PID 在卷取机助卷辊位置控制系统中的应用[J]. 一重技术, 2017(1): 50—59.
WANG Fei. Application of Fuzzy PID in Position Control System of Coiler Wrapper Rolls[J]. CFHI Technology, 2017(1): 50—59.
- [12] ZHANG F F, ZHOU B F. Fuzzy-PID Control of Riser Recoil Process Based on S7-300 PLC[C]// IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, ITEC, 2014: 1—4.
- [13] 许玉忠. 基于 PLC 的模糊 PID 水电厂蒸发冷却空调控制系统[J]. 水电与新能源, 2016(6): 15—18.
XU Yu-zhong. Fuzzy PID Control System for Evaporation Cooling Air-conditioner in Hydropower Plants Based on PLC[J]. Hydropower and New Energy, 2016(6): 15—18.
- [14] 张泾周, 杨伟静, 张安祥. 模糊自适应 PID 控制的研究及应用仿真[J]. 计算机仿真, 2009, 26(9): 132—135.
ZHANG Jing-zhou, YANG Wei-jing, ZHANG An-xiang. Reserch on Fuzzy Self-adaptive PID Control and Emulation[J]. Computer Simulation, 2009, 26(9): 132—135.