# 包装托盘运输机械系统的模糊 PID 控制

#### 马和平

(包头职业技术学院,内蒙古 包头 014000)

摘要:目的 利用模糊 PID 机械控制技术控制单自由度的包装托盘运输装置,提高工厂托盘运输的高效性与准确性。方法 根据模糊 PID 控制原理的高精确性,合理规划以齿轮齿条为主要机械传动方式的托盘运输系统,并与相关传统的控制系统进行对比分析。通过隶属度的不同输入值合理规划其搬运系统的运动路径,最后通过建立有效的测试点进行分析,构建了模型的评价机制。结果 通过理论模型和仿真演示,验证了该控制装置系统的高精度性,经仿真其精度误差范围为-1.8~2 mm。结论 通过使用模糊PID 控制方案,有效地实现了高精度托盘机械搬运系统的整体控制,为相关机械设备的良好运行与算法优化提供了实践方案。

关键词:模糊 PID 控制; 机械搬运系统; 算法设计; I/O 配置

中图分类号:TB486 文献标识码:A 文章编号:1001-3563(2019)21-0216-06

**DOI**: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.21.032

### Fuzzy PID Control of Packaging Pallet Transportation Machinery System

#### MA He-ping

(Baotou Vocational and Technical College, Baotou 014000, China)

ABSTRACT: The paper aims to control the single-degree-of-freedom packaging pallet conveyor with the fuzzy PID mechanical control technology to achieve high efficiency and accuracy in actual factory pallet conveying. According to the high accuracy of the fuzzy PID control principle, the pallet transportation system with gear and rack as the main mechanical transmission mode was reasonably planned and compared with related traditional control systems. According to the different input values of membership degree, the movement path of its handling system was reasonably planned. Finally, the evaluation mechanism of the model was constructed by establishing effective test points for analysis. The high precision of the control system was verified by theoretical model and simulation demonstration. The precision error was –1.8 mm to 2 mm by simulation. By using the fuzzy PID control scheme, the overall control of the high precision mechanical conveying pallet system is effectively realized, which provides the research foundation for the good operation and algorithm optimization of related mechanical equipment.

KEY WORDS: fuzzy PID control; mechanical handling system; algorithm design; I/O configuration

随着智能化技术的不断发展,在生产过程中的相关工序也在不断进行优化,以满足日益增加的生产效率需求。实现对包装物流托盘的高效运输是众多学者的重要研究方向,其中曾永辉等人就利用虚拟ADAMS的仿真手段对包装运输展开了分析[1]。目前,

在大多数相关包装运输企业中,对于工业品的运输还主要依靠人力完成,人力成本以及搬运效率极大地制约了工业品加工生产的流通环节,继而对整个生产加工过程有着一定的限制,众多学者<sup>[2-5]</sup>利用各种虚拟计算机仿真技术就此展开了研究与测试。随着工业系

收稿日期: 2018-12-29

作者简介:马和平(1983—), 男, 硕士, 包头职业技术学院讲师, 主要研究方向为机电一体化技术。

统机器技术以及相关智能物流设备的不断应用与发 展,其相关的物流运输策略在印包等行业也日益发挥 着重要的作用。通过相关资料[6]可知:对于货物的运 输作业 ,PLC 控制性能是评价其整个运输系统好坏的 重要标志之一。智能化搬运控制对被包装物有着重要 的意义,在实践中主要是通过两方面进行着手设计: 一方面在基本机械结构不发生变化的基础上,进行整 体的控制策略优化[7-11],最终实现整个控制方案的高 效性;另一方面是采用机械机构类策略的优化方 案[12-16],主旨在于改进相关的机械结构后,实现整 体运动方案的解决。文中主要使用的策略是通过齿轮 齿条驱动导轨滑块,以单自由度运输方式实现整体运 输机械结构运行,并且在此之上进行控制策略优化, 最终实现装置的搬运运动。通过该装置不仅实现其整 体运输过程并验证了可靠性,该方法的实现也为后续 研究打下了基础。

### 1 单自由度机械搬运托盘系统结构分析

### 1.1 控制硬件分析

在整个系统中的硬件部分,主要有工控机、托盘搬运控制器、I/O 卡、以及电机的伺服驱动系统等几部分。在该单自由度控制系统中,硬件所采用的控制方式为二级控制。系统中的工控机被作为是一级控制器,主要控制的是系统的宏观性运动;托盘搬运控制器被作为整个系统的二级控制结构,其主要的作用是对包装托盘进行精准的运动控制。

在整个系统工作的过程,可看作是由机械和控制两大部分组成。此搬运托盘系统控制主要包含机械传动控制、电机控制以及 PLC 编程等内容,具体控制流程见图 1。

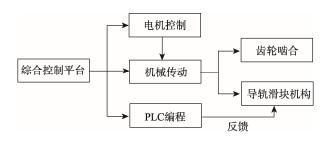


图 1 机械搬运托盘系统主要模块控制流程 Fig.1 Main module control flow of mechanical conveying pallet system

工控机的主要任务是管理系统运行中的复杂性文件,设置具体系统化参数,解释系统中的具体化编程语言,示教检查系统的运行状态,协调相关程序的关系,诊断机械系统的故障以及相关运算的插补等功能。在整个人机接口的综合性功能实现上,硬件分析主要使用的是由相关的 I/O 卡,其功能具体实现对于设备运行状况的实施监控、相关行程限位以及对具体

信息的有效反馈分析,使得其工控机可以有效地根据其在系统中所读取到的信息做出积极有效的对应反应。示教盒的主要功能是实现与主机间的通讯,这里采用华域 Haswell I7-4510U 的工控主板进行设计与应用。

### 1.2 搬运系统的机械结构分析

根据单自由度的高精度机械搬运托盘系统的机械机构传动特性,在确定传动方案后,使用SolidWorks软件进行三维建模,模型见图 2。该结构包含伺服电机、运输底板、齿条(齿轮)、阻挡版、拖链、导轨(滑块) 固定脚支以及机架等部分。搬运托盘的机械传动系统中,动力源为伺服电机的转动带动末端部位的齿轮,使得固定在机架上的齿条轴啮合,从而实现整个运输底板的运动,该运输底板下方螺钉连接有滑块,在其相对应的导轨进行单向的滑动;其运输底板上方固定有伺服电机为整个机械系统提供良好的连续传动。拖链为运输底板与机架的连接件,作用在于保护机械系统的相关线缆。除上述之外,在机架的末端安装有阻挡板,从而限制其运输底板的运行位置。

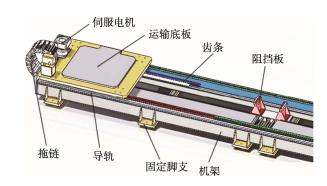


图 2 机械搬运托盘系统结构设计

Fig.2 Structural design of mechanical conveying pallet system

# 2 模糊 PID 控制过程分析

#### 2.1 模糊 PID 控制理论

模糊自适应 PID 控制(比例-积分-微分控制器) 是在 PID 算法的基础上,以误差和误差变化率作为输入,利用模糊规则进行模糊推理。在具体应用中,通过查询模糊矩阵表进行参数调整,来满足不同时刻的误差和误差变化率,并随后对 PID 参数进行调整,以满足自整定的要求,其模糊控制器结构示意图见图3。

#### 2.2 模糊 PID 控制分析

在搬运机械系统作业的过程中,首要保证的是导轨滑块运动的精确性,因为该过程会直接影响到整个系统的作用精度,运输底板在运动过程中应该要实现精确停车作业。电机是整个运动的核心部件,故而选

择合适的电机对于其底板的精确停车具有重要的作用。在实现导轨滑块的作用下选用合适的 PLC 模块,这里采用三菱重工的 FU 系列,具体的 PLC 控制过程见图 4。

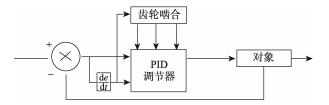


图 3 模糊控制器结构示意

Fig.3 Structural sketch of fuzzy controller

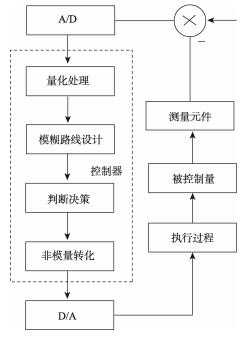


图 4 PLC 模糊控制流程示意

Fig.4 Schematic diagram of PLC fuzzy control flow chart

整个运输系统的控制中,包装件托盘应该固定于运输底板上。在导轨滑块运行的作业中,应该关注于其位置偏差 e 以及相应的偏差变化率  $\Delta e$  ,这样才可保证其实际的精确度。将底板的运行位置信号 n 设定为整个系统的输出,即初始与输出结果的比值,而后根据比值大小确保整个的模糊控制系统精确度,并在随后提高相关导轨滑块运行机构的精度。该过程也是提高精度的切实方法,方便为对两者位置偏差进行纠正及补偿。对于位置偏差 e 在原理上可以为( $-\infty$ , + $\infty$ ),但在实际的应用过程中,假如位置偏差的取值太大,往往会因为其附属的检测配件跟不上要求而无法有效捕捉底板位置,在此赋值于 e 的范围为[-100, +100]。

在系统中应简化模糊控制的范围,增强计算效率并明确不使用已标明的过程变量的单位。根据实际要求,在该系统中,对其位置偏差e以及相应的偏差变化率 $\Delta e$ ,设定对应的值域范围为 $\{-100,-60,-10,0,$ 

10, 70, 120}, 控制量 n 的值域与之相对应地设定为  $\{-20, -10, 0, 10, 20\}$ 。在对模糊子集的取值设定为  $\{ML, MS, ZO, BS, BL\}$ 后,分别与模糊控制系统中的 2 个变量的值域进行匹配,继而可以得到整个变量的相关模糊定义子集。相关的输入变量的隶属度见表 1。

表 1 隶属度输入值 Tab.1 Input value of membership degree

e	n								
	-100	-80	-60	-40	0	40	60	80	100
ML	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
MS	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
Z0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
BS	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
BL	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1

为科学建立整个模糊规则 构建其模糊控制器是重要一步。模糊控制器的具体工作原理是通过模仿人的思维处事方式方法,模糊控制规则中的逻辑命令见表 2。

表 2 模糊逻辑运行规则 Tab.2 Rules of fuzzy logic operation

Λ.	n						
$\Delta e$	ML	MS	Z0	BS	BL		
ML	BL	BL	BS	BS	Z0		
MS	BL	BS	BS	Z0	MS		
Z0	BS	BS	Z0	MS	MS		
BS	BS	Z0	MS	MS	ML		
BL	Z0	MS	MS	ML	ML		

模糊规则建立过程是为了将理论的方向搬运矢量进行参数化,进而转变成导轨可控量,在实际的应用过程中,需要对其常规的模糊控制系统进行与之相对应的模糊化处理,这样可以实现其模糊量数值的转化。在常规的数值处理过程中常用的是加权平均法,其具体的量化方式为:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i \cdot \mu(U_i)}{\sum_{i=1}^{n} \mu(U_i)}$$
(1)

式中: $C_i$ 为导出的隶属度函数的中心值; $\mu(U_i)$ 为导出的实际隶属度函数的值。

### 3 搬运机器系统 I/O 配置过程

工业机器人采用 YASKAWA 系列堆垛机器人进行货物的转移,所以需要根据机器人建立对应的坐标系。在具体构建末端夹具坐标系的过程中,首先应明确 tool 0 的初始位置,在 z 轴方向明确偏移量为415 mm。而后明确末端执行器的质量,调整末端执行器的初始重心位置在z 轴方向的偏移量 tool 0 控制

在±100 mm 之内,最后完成初始数据的创建,具体使用 tGripper 进行创建。通过示教器确定好初始点的位置坐标,经过标定工具校准从而保证标定精度。

在完成初始数据的校准之后,下一步是对 I/O 口进行精准的配置以及指令解析。使用的主要输入以数字输入信号为主,而后在相应的端口进行信号的转化,具体转化过程是将到位信号转化为到位指示,最终将指示输入搬运系统的主控机。信号经主控机处理后再进行输出。在满载的信号输出过程中,要注意相关命令符的设置,从而确定在运行过程中相对应的系统输入与输出量的大小。在整个命令的设置中包含有"启动"、"暂停"、"复位"等基本功能按键。根据YASKAWA的输出特性选择 16 个数字进行输出。具体的 I/O 信号配置见表 3。

经过机器系统自带的程序处理后,完成多类型数据的重复性组合,实现参数化赋值,其具体的机器人工作过程见图 5。

表 3 I/O 信号配置 Tab.3 I/O signal configuration

	0		
名称	信号类型	映射	注释
Yi0_B1	Input	0	左传信号
Yi1_B2	Input	1	右传信号
Yi2_P1	Input	2	左码盘到位
Yi3_P2	Input	3	右码盘到位
$Yo0_C$	Output	0	末端执行器
Yo1_H	Output	1	抓取
Yo2_P1	Output	2	左码盘停滞
Yo3_P2	Output	3	右码盘停滞
Yi8_St	Input	8	启动
Yi9_Sp	Input	9	停止

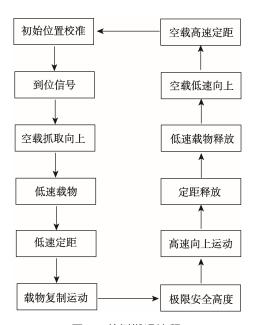


图 5 单侧搬运流程 Fig.5 Unilateral handling process

## 4 仿真及分析

仿真的目的是为了验证相关的模糊控制后机械搬运托盘系统的运行精度,工况为运输底板以 0.5 m/s 的速度进行匀速行驶,并进行与之相对应的定点停靠,其停靠次数为 100 次,而后进行行车的测试,验证其匀速停靠的精度,从而测试整个机械系统的行驶停靠性能。在仿真过程中,除了对于工业机器人影响不大的部件可以进行省略,与之相关的零部件需要用同等密度的材料体代替。其具体所使用的实验样机见图 6,得到的实验仿真结果见图 7。



图 6 测试实物样机 Fig.6 Physical prototype of testing

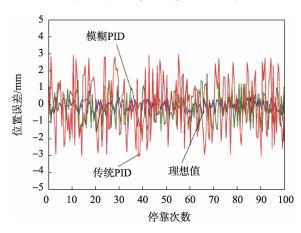


图 7 停靠仿真结果对比 Fig.7 Comparison of docking simulation results

从停靠仿真与试验结果可以得到:采用模糊的PID 控制方案,停靠精度会明显地高于最优控制和传统 PID 控制的精度;模糊 PID 控制的控制范围的精度在±0.5 mm 之间,可得到实验结果的最优控制的精度范围在±2 mm 以内,实际为-1.8~2 mm 之间,而相对较为传统 PID 控制精度范围为±3 mm 之间,远不能达到高精度的应用要求。

同时针对其多次测试,设定3个停靠点进行相关的精度测试,可明显看到3个点的线性趋势一致且贴合紧密,误差偏差较小。其具体的测试结果见图8。

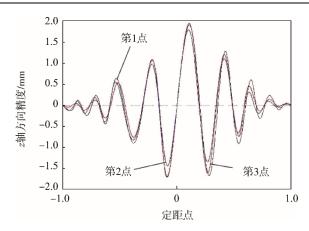


图 8 多点误差重复对比结果 Fig.8 Repeated comparison results of multi-point errors

通过上述停靠点可知其精度多点测试结果稳定, 达到了实验仿真的要求,在随后的测试应用中可能会 因为其测试速度的不同而导致测试精度出现差异,但 是经过实际验证与研究可知,该机械系统在其移动速 度不高于 1 m/s 的情况下,可以在实际的应用过程中 实现高精度和高效率的托盘搬运控制。

通过与实际情况对比可知,测试精度稳定在 - 1.8~2.0 mm,可以满足设计要求。通过实际情况也可知,其最优控制方案与多种传统 PID 控制方案的精度均可以达到其控制要求,而且模糊 PID 控制精度的方法明显优于其他方案。

# 5 结语

以托盘智能化运输为研究对象,通过高精度的导轨滑块机械系统结合模糊 PID 控制理论模型和仿真演示,有效地验证了该控制装置系统的高精度和可靠性,经仿真其精度误差为-1.8~2 mm,为实际应用于相关生产过程提供理论支持并为后续研究奠定基础。在该领域可以有效地验证模糊 PID 控制方案在实现印包行业高精度机械搬运托盘系统的整体控制的可靠性,为后相关深入算法以及控制方案优化提供研究提供实践性较强的案例。

#### 参考文献:

- [1] 曾永辉,曾智勇,汪京杭,等.基于 ADAMS 的虚拟 集装箱运输振动分析[J].机械工程师,2008(6): 106—108.
  - ZENG Yong-hui, ZENG Zhi-yong, WANG Jing-hang, et al. Analysis of Virtual Container Transport Vibration Based on ADAMS[J]. Mechanical Engineer, 2008(6): 106—108.
- [2] 王吉岱, 王明鹏. 基于视觉引导的自动码放生产线设计[J]. 包装工程, 2017, 38(11): 148—152.

- WANG Ji-dai, WANG Ming-peng. Design of Automatic Stacking of Production Line Based on Visual Guidance[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(11): 148—152.
- [3] HAO J, XU H, LIN J. Virtual Simulation Design of Robot Palletizing Workstation Based on Robot Studio[J]. Automation & Information Engineering, 2017, 2(4): 31—34.
- [4] SHI Z, HAN F, YIN H. Parameters Optimization of Bagged Cement Robot Palletizer With Mechanism Speed Performance Indicators Theory[J]. Machine Design & Research, 2017, 6(5): 43—47.
- [5] YI Lun-han, ZHEN Guang-jiao, YAN Fang-tian, et al. Design of Loading Robot Control System Based on PLC[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 441: 792—795.
- [6] 李蓉娟, 吴新伟. 基于 PLC 的全自动包装码垛生产线控制系统设计 [J]. 科技通报, 2017, 33(7): 167—170.

  LI Rong-juan, WU Xin-wei. Design of Automatic Packaging and Palletizing Line Control System Based on PLC[J]. Bulletin of Science and Technology, 2017, 33(7): 167—170.
- [7] 郭亚奎, 陈富林, 汤永俊. 码垛机器人控制系统的设计与实现[J]. 机电一体化, 2014(1): 55—58. GUO Ya-kui, CHEN Fu-lin, TANG Yong-jun. Stacking Robot Control System Design and Implementation[J]. Mechatronics, 2014(1): 55—58.
- [8] 李坤全, 邵凤翔. 全自动包装码垛机器人控制系统设计[J]. 机械设计与制造, 2017(4): 259—262.

  LI Kun-quan, SHAO Feng-xiang. Design of Fully Automatic Packaging Palletizing Robot Control System[J].

  Machinery Design & Manufacture, 2017(4): 259—262.
- [9] 王家寅, 冯显英, 王晓彬. 基于 PLC 的试剂精密定量封装控制系统开发[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2013(10): 80—86.
  WANG Jia-yin, FENG Xian-ying, WANG Xiao-bin.
  Development of Precise Quantitative Packaging Control System for Reagent Based on PLC[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2013(10): 80—86.
- [10] 曹成涛, 许伦辉, 赵雪, 等. 四轴工业机器人运动控制与视觉码垛[J]. 机械设计与制造, 2016(11): 158—161.

  CAO Cheng-tao, XU Lun-hui, ZHAO Xue, et al. Four Axis Industrial Robot Motion Control and Visual Pal-
  - Axis Industrial Robot Motion Control and Visual Palletizing[J]. Machinery Design & Manufacture, 2016(11): 158—161.
- [11] 刘汉忠, 俞鹏. 模糊 PID 自适应控制在微型齿轮泵 恒流控制系统中的应用[J]. 流体机械, 2018, 46(12):

50-53.

- LIU Han-zhong, YU Peng. Application of Fuzzy PID Adaptive Control in Constant Flow Control System of Miniature Gear Pumpp[J]. Fluid Machinery, 2018, 46(12): 50—53.
- [12] 张继红. 包装机械的创新设计必须面向机电一体化技术[J]. 包装工程, 2004, 25(4): 112—113.

  ZHANG JI-hong. The Creative Design of Packing Ma-chine Must Face to the Machatronics Technology [J]. Packaging Engineering, 2004, 25(4): 112—113.
- [13] PARK D ,KWAK Y ,OK H ,et al. Preferred Skin Color Reproduction on the Display[J]. Journal of Electronic

- Imaging, 2006, 15(4): 041203.
- [14] HYUNHWA O, PARK D, KIM J B, et al. Preferred Skin Color Reproduction Based on Adaptive Affine Transform[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2005, 51(1): 191—197.
- [15] PIERREVALH, CANXC, PARISJL. Evolutionary Approaches to the Design and Organization of Manufacturing Systems[J]. Computers and Industrial Engineering, 2003, 44: 339—364.
- [16] RAMIREZJE. Welding Materials: Current State and Development Tendencies[J]. Welding International, 2003, 17(11): 905—917.