

基于差分进化算法的模糊控制器 在全自动注射机的应用

王惊雷

(河南省洛阳经济学校, 河南 洛阳 471000)

摘要: 针对传统模糊控制器控制过程复杂, 很大程度依赖专家经验等缺点, 结合全自动注射机的工作特点, 提出基于差分进化算法的模糊控制方案。采用 Matlab 搭建实验仿真平台, 对于全自动注射机温度控制系统进行实验设计, 同时对于控制器进行验证分析。仿真结果表明, 基于差分进化算法的模糊控制器具有较好的抗干扰性、稳定性, 在全自动注射机温度控制中, 相对传统模糊控制器, 其恒定性和鲁棒性控制效果更加良好。基于差分进化算法的模糊控制器应用于全自动注射机温度控制系统, 能更大程度上提高系统性能与温度控制精度, 进而提升产品质量。

关键词: 差分进化; 模糊控制器; 全自动注射机; 温度控制

中图分类号: TQ320.52; TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3360(2021)03-0077-04

DOI: 10.15925/j.cnki.issn1005-3360.2021.03.018

Application of Fuzzy Controller Based on Differential Evolution Algorithm in Automatic Injection Molding Machine

WANG Jing-lei

(Luoyang Economics School of Henan Province, Luoyang 471000, China)

Abstract: According to the disadvantages of the traditional fuzzy controller's complicated control process and relying on expert experience to a large extent, combining the working characteristics of the automatic injection molding machine, a fuzzy control scheme based on the differential evolution algorithm was proposed. Matlab was used to build an experimental simulation platform for the experimental design of the automatic injection molding machine temperature control system, and the controller was verified and analyzed. The simulation results show that the fuzzy controller based on the differential evolution algorithm has better anti-interference and stability. Compared with the fuzzy controller, the controller has better constancy and robustness control effect in the temperature control of the automatic injection molding machine. The controller is applied to the temperature control system of the automatic injection molding machine, which can improve the system performance and temperature control accuracy to a greater extent, thereby improving product quality.

Key words: Differential evolution; Fuzzy controller; Automatic injection molding machine; Temperature control

随着塑料工业的迅速发展, 塑料制品在航空、航天、电子、机械、船舶和汽车等领域广泛应用。注塑设备是生产各种工业产品的重要工艺装备^[1], 而控制系统是注塑设备中最为关键的部分。目前, 传统的模糊控制器过于依赖人工经验, 控制精度低, 控制效果不理想, 无法很好地满足高精度控温要求。为进一步提升系统控制精度, 提升注塑产品质量, 本实验采取基于差分进化算法的模糊控制器, 应用于全自动注射机温控系统中, 对系统的控制精度进行探究。

1 注射机工艺概述

目前塑料工业中所应用的注射机, 根据注塑缸的数目可分为单缸注射机和双缸注射机。单缸注射机, 除去对射机的使用, 单独使用一个射台成为单色机型, 配以 M3700 高速射台, 射速可达 250 mm/s; 配以 E1400H 全电射台, 射速可达 300 mm/s。双缸注射机特点为双缸直压式缩模, 模面受力均匀, 低压关模平稳且快速, 通常采用节能油泵。同时采用箱体式前模板, 内部加强筋分布合理, 移动模板更加扎实。

工业生产过程中的自动注射机的注塑成型加工过程较为复杂, 对于工艺要求精度较高。通常意义上, 自动注射机的工作流程主要包含四个主要阶段: (1) 材料熔融

收稿日期: 2020-05-26

联系人, 406662455@qq.com

与填充阶段;(2)模具保压阶段;(3)模具冷却阶段;(4)开模与成品阶段。由于不同材料的物理化学属性对于注塑过程中的工艺参数不尽相同,但为了更好地确保注塑模具的质量,通常需要对于注射温度进行较为精准的控制。

注射机的温度控制部分主要由料筒温度和模具温度组成,胶料的内在塑化效果受料筒温度影响,注塑半成品表面的光滑度受模具温度影响^[2]。国内外大多数厂商采用的注射机温控系统一般包含两个子系统,分别为闭路水循环系统和电控系统。水循环由一路热水和一路冷水组成,在料筒外部流道流动。电控系统由电加热器以及换热器组成,电加热器把水加热到设定温度,冷却水经过换热器进行热量转换。通过热传导控制启动时模具部分的预热,保持塑化过程的温度恒定^[3]。

2 注射机温度控制策略

目前国内大多数的全自动注射机采用模糊控制的温度控制方案,在塑料的塑化过程中,塑料半成品的质量直接受温度的影响。温度过低,塑料表面不光滑,物理性能较差,甚至出现无法成型的情况。温度过高则会出现气泡,严重时会导致胶料烧焦。因此,对胶料温度的精确控制是加工生产线的第一要务^[4]。目前,随着工艺的升级与进步,对于温度控制精度提出了新的要求,采用模糊控制器难以实现对于注射机温度的精准控制。但是塑料在塑化过程中,温度受注射压力变化,保压时间调整,材料塑化程度等因素影响难以取得较为良好的温度控制效果。熔料温度的获取可以通过在喷嘴部分安装温度传感器,实现对于熔体温度的测量。

注射机温控系统比较复杂,具有时变性,滞后时间大。模糊PID控制过于依赖人工经验,控制精度低,控制效果不理想,无法很好地满足高精度控温要求^[5]。模糊控制系统是通过对输入量进行模糊化处理,选择合适的由人工经验得出的模糊规则表进行模糊推理,得到模糊量后进行清晰化输出。模糊PID控制是将模糊控制与PID控制器相结合,在线整定PID的参数,图1为模糊PID控制原理图。

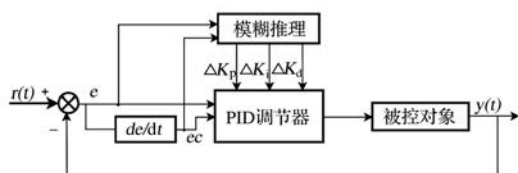


图1 模糊PID控制原理图

Fig.1 Fuzzy PID control principle diagram

从图1可以看出,根据模糊逻辑推理实现对PID参数的自适应整定与调节。其中,系统误差(e)和误差变化率(ec)为模糊控制器的输入量,代表温度偏差和偏差变化率; ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 为输出量,代表PID控制器三个参数 K_p 、 K_i 、 K_d 的校正量;系统输入 $r(t)$ 为橡胶料筒温度的设定值; $y(t)$ 为实际检测到的温度值。将其清晰化后与初始PID参数叠加,根据系统偏差和偏差变化率的不断变化而变化^[6]。

输入变量和输出变量模糊论域的子集为{NB(负大), NM(负中), NS(负小), ZO(零), PS(正小), PM(正中), PB(正大)}, e 和 ec 的论域取{-6,-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5,6},图2为输入与输出变量的隶属函数采取的三角函数形式。

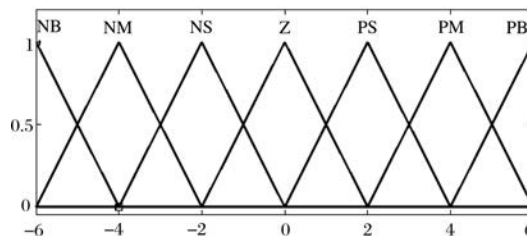


图2 输入与输出变量隶属度函数

Fig.2 Membership function of input and output variables

目前塑料工业应用中,采用模糊PID控制器的温度控制系统应用广泛。乙基纤维素、聚氯乙烯、磷酸三氯乙酯等,在其加工生产过程中都需要有较为精准的温度控制,同时全自动注射机生产过程中对温度有严格的控制要求^[7],传统的温度控制方法通常运用模糊PID控制器进行控制。但对于注塑过程的温度控制系统,由于其控制系统的复杂性,且为实现高控制精度和效果的要求,使用常规控制器已经不容易产生优良的控制效果^[8]。

3 差分进化算法的模型与应用

差分进化算法又称为DE算法,本质上是一种多目标优化的算法,在算法优化中应用较为广泛。差分进化算法借鉴遗传算法中种群进化思想,通过种群的初始化、交叉变异等操作,实现对于最优解的寻找^[9]。图3为差分进化算法原理图。

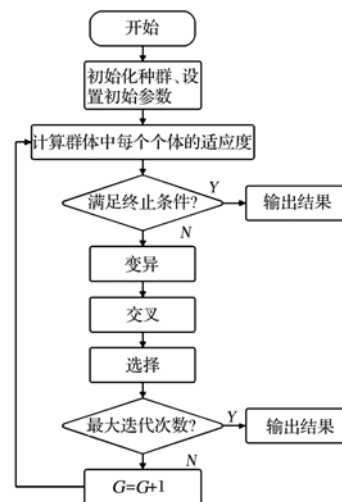


图3 差分进化算法原理图

Fig.3 Schematic diagram of differential evolution algorithm

根据原理图对于算法步骤进行详细描述:

第一步,种群的初始化。初始算法的参数,种群数量规模为:

$$x_{ij}(0) = \text{rand}_{ij}(0,1) \cdot (x_{ij}^U - x_{ij}^L) + x_{ij}^L, \quad i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,n \quad (1)$$

根据公式(1)有效确定种群规模,对于总体大小 M 的

值,种群规模的大小对于种群多样性具有较大的影响,但是种群规模过大又会影响算法的收敛速度^[10]。

第二步,种群变异操作。首先在种群中挑选3个不同种群个体 x_{p1}, x_{p2}, x_{p3} 进行如下操作:

$$h_{ij}(t+1)=x_{p1j}(t)+F(x_{p2j}(t)-x_{p3j}(t))$$

(2)

变异因子是算法中的重要参数,用于控制种群的变异特征以及种群多样化的实现,对于种群进一步的进化,最优解的生成具有重要影响。

第三步,交叉。为了增加种群多样性,操作如下:

$$v_{ij}(t+1)=\begin{cases} h_{ij}(t+1), \text{rand}(0,1)\leq CR \\ x_{ij}(t), \text{rand}(0,1)>CR \end{cases}$$

(3)

式(3)中: $CR\in[0,1]$ 为交叉概率。交叉概率对于算法寻优过程中,收敛速度的快慢具有重要作用。倘若交叉概率过小,使得种群多样性降低,算法收敛速度便慢。但是过大的交叉概率又会使算法对于全局最优解不够敏感,并导致控制收敛效果变慢。

第四步,对下一代种群个体进行选择。通过函数进行计算同时确定 $x_i(t)$ 为下一代的子个体:

$$x_i(t+1)=\begin{cases} v_{ij}(t+1), f(v_{i1}(t+1), \dots, v_{in}(t+1)) < f(v_{i1}(t), \dots, v_{in}(t)) \\ x_{ij}(t), f(v_{i1}(t+1), \dots, v_{in}(t+1)) \geq f(v_{i1}(t), \dots, v_{in}(t)) \end{cases}$$

(4)

差分进化算法为优化算法,在控制领域应用较为广泛。算法吸收了种群进化的优势与特点,进一步帮助控制器跳出当前局部最优值,通常根据算法收敛性分析,进一步证明算法进一步收敛到最优值的有效性^[11]。图4为差分进化算法的模糊控制器原理图。

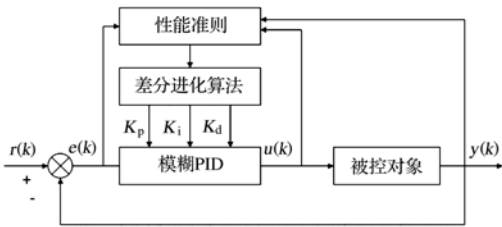


图4 差分进化算法的模糊控制器

Fig.4 Fuzzy controller of differential evolution algorithm

利用差分进化算法优化PID参数的具体步骤为:

- (1)首先定义 K_p, K_i, K_d 三个数值的范围;
- (2)算法的初始化,初始化各项参数;
- (3)种群个体根据适应度函数进行寻优,确定出系统误差最小的 K_p, K_i, K_d 三个数值;
- (4)种群进行交叉、变异等操作,进一步产生新的种群;
- (5)迭代步骤(2)~(4),直到参数收敛到最小数值。

4 基于差分进化算法的模糊控制器设计实现

为验证基于差分进化算法的模糊控制器的有效性,采用Matlab搭建实验仿真平台对于全自动注射机温度控制系统进行实验设计,同时对于控制器进行验证分析。通过Simulink对所设计的全自动注射机温度控制系统进行仿真验证,并对系统性能进行分析。建立基于差分进化的模

糊控制器与模糊PID控制器的自动注射机温度控制仿真模型。控制器设计是结合差分进化算法的寻优思路,结合工业生产过程中注射机温度控制经验以及模糊控制器的理论特点,表1~表3为设计的模糊规则。图5为差分进化参数寻优过程。

采用60℃的期望信号进行输入测试,图6为控制器仿真测试对比试验。从图6可以看出,两种算法上升的时间相同,模糊PID控制算法的最高上升温度为68.29℃,较大,基于差分进化算法的模糊控制器的最高上升温度为62.16℃,调节时间比模糊PID控制少,呈现显著的优越性,控制效果显著提升。

表1 K_p 参数调节的模糊规则表

Tab.1 Fuzzy rule table for K_p parameter adjustment

e	ec						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZE	ZE
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZE	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZE	NS	NS
ZE	PM	PM	PS	ZE	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZE	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZE	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZE	ZE	NM	NM	NM	NB	NB

表2 K_i 参数调节的模糊规则表

Tab.2 Fuzzy rule table for K_i parameter adjustment

e	ec						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	ZE
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZE	ZE
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PS
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	ZE	ZE	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZE	ZE	PS	PM	PM	PB	PB

表3 K_d 参数调节的模糊规则表

Tab.3 Fuzzy rule table for K_d parameter adjustment

e	ec						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZE
NS	ZE	NS	NM	NM	NS	NS	ZE
ZE	ZE	NS	NS	NS	NS	NS	ZE
PS	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

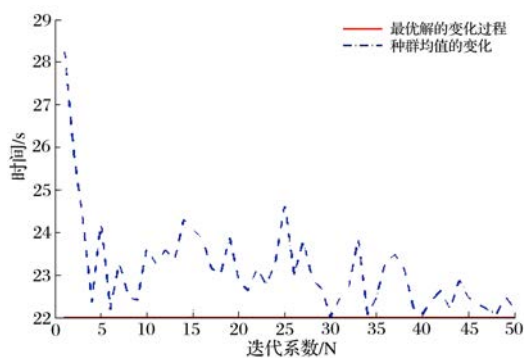


图5 差分进化参数寻优过程

Fig.5 Differential evolution parameter optimization process

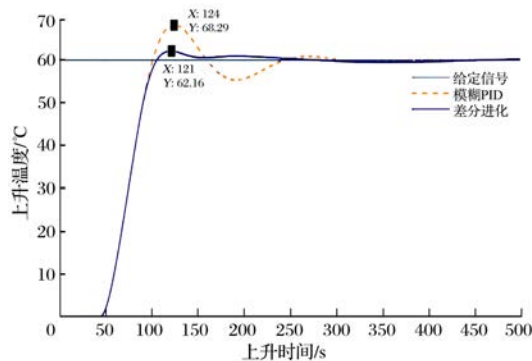


图6 控制器仿真测试对比试验

Fig.6 Controller simulation test comparison

由于自动注射机在实际生产应用中会面临着功率加热器更换、误故障或者电机误操作等情况,通常在设计控制器时要进行外来扰动的测试与试验。为更好地验证控制器的性能,在进行控制器仿真测试对比试验中,考虑加入外来扰动环节,进一步观察控制器的控制效果。图7为控制器仿真测试对比试验(带扰动)。从图7可以看出,基于差分进化算法的模糊控制器系统上升时间较短,系统对于外来扰动能够迅速恢复,可以较好地实现温度控制。

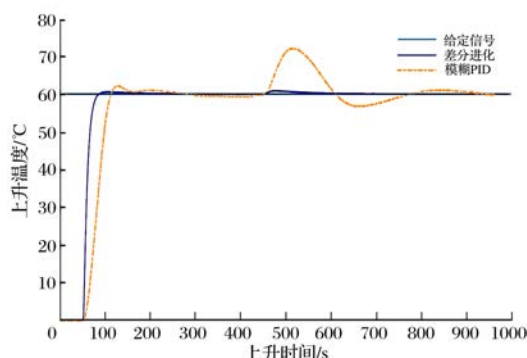


图7 控制器仿真测试对比试验(带扰动)

Fig.7 Controller simulation test comparison test(with disturbance)

5 结论

针对全自动注射机温度控制系统具有非线性、时变性以及大时滞问题,选取料筒温度作为被控对象,采取模糊PID控制算法、差分进化算法-模糊控制算法。同时,对于全自动注射机温度控制系统,分别设计了基于模糊PID、基

于差分进化的模糊控制器,并在Matlab软件上进行了仿真实验。对比分析研究结果可以发现,与常规模糊PID控制器相比,基于差分进化的模糊PID控制器有效降低了系统的超调量以及调节时间,具有良好的控制质量,在加入扰动后,能够迅速找到最优控制参数,控制器仍然具有良好的控制效果。

参考文献

- [1] 李村. 注射机料筒温度控制设计与研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2011.
- [2] 汤霖晓, 朱茂桃, 吴蕾. 基于Moldflow和代理模型的注塑工艺参数优化[J]. 塑料科技, 2019, 47(6): 99-103.
- [3] 陈以, 杨启伟. 模糊Smith智能温度控制器的设计与仿真[J]. 控制工程, 2007(4): 422-425, 429.
- [4] 陈想, 陈波宇. 频率和温度对帘线与胶料动态粘合性能的影响[J]. 轮胎工业, 2020, 40(6): 42-44.
- [5] 彭勋. 一种自适应模糊PID节能控制的改进研究与仿真[J]. 计算机仿真, 2016(12): 333-337.
- [6] 黄伟, 巫茜. 基于参数自整定的模糊PID控制器及其应用[J]. 机床与液压, 2013(6): 81-86.
- [7] 宋超, 曹翔, 温家奎. 自适应模糊PID控制器的设计及MATLAB仿真[J]. 现代制造技术与装备, 2018(7): 210-212.
- [8] 申静. 塑料吹膜机的模糊PID温度智能自动控制[J]. 合成树脂及塑料, 2019, 36(2): 82-85.
- [9] 倪洪杰, 彭春祥, 周晓根, 等. 一种阶段性策略自适应差分进化算法[J]. 计算机科学, 2019, 46(S1): 106-110.
- [10] 丁青锋, 尹晓宇. 差分进化算法综述[J]. 智能系统学报, 2017, 12(4): 431-442.
- [11] 周伟, 谭振江, 朱冰. 基于差分进化算法的大数据智能搜索引擎研究[J]. 情报科学, 2018, 36(5): 87-91.