

一种基于IIR滤波器权值优化算法的注射机 注射位置控制研究

王生阳, 谷少朋, 崔 成

(南阳农业职业学院, 河南 南阳 473003)

摘 要: 以带输出反馈的二阶IIR滤波器作为控制研究对象, 采用遗传算法作为IIR滤波器的权值优化算法, 在给定区间内搜索全局最优解。针对阶跃输入信号和三角波输入信号进行注射位置控制仿真实验, 验证基于权值优化算法的二阶IIR滤波器的位置控制效果。结果表明, 基于遗传算法的改进IIR滤波器能够实现0超调、快速动态响应以及高控制精度, 并且具有很好的动态跟踪效果。

关键词: 位置控制; IIR滤波器; 非线性; 遗传算法

中图分类号: TQ320.63

文献标识码: A

文章编号: 1005-3360(2020)07-0090-03

DOI: 10.15925/j.cnki.issn1005-3360.2020.07.024

Research on Injection Position Control of Injection Molding Machine Based on Weight Optimization Algorithm of IIR Filter

WANG Sheng-yang, GU Shao-peng, CUI Cheng

(Nanyang Vocational College of Agriculture, Nanyang 473003, China)

Abstract: Taking the second-order IIR filter with output feedback as the control research object, genetic algorithm is used as the weight optimization algorithm of IIR filter to search the global optimum solution in a given interval. The injection position control simulation experiment is carried out for step input signal and triangle wave input signal to verify the position control effect of the second-order IIR filter based on the weight optimization algorithm. The results show that the improved IIR filter based on genetic algorithm can achieve zero overshoot, fast dynamic response and high control accuracy, and has a good dynamic tracking effect.

Key words: Position control; IIR filter; Nonlinear; Genetic algorithm

注射机在注塑过程中, 注射油缸的位置控制系统受到油温、模具温度、熔融物料湿度等因素影响, 呈现出明显的时变性和非线性^[1], 导致对位置的控制精度不能满足生产要求, 出现塑料制品质量差的问题, 比如密度不均、溢边、冷焊接等。另外, 不同形状的塑料制品对注射油缸的位置控制轨迹不同, 因此, 生产过程中对于变轨迹输入信号下注射油缸保持位置控制精度也提出了要求^[2]。

杨小华^[3]将模糊控制规则与神经网络相结合构成复合计算机自动化控制器, 并进行高速注射油缸位置控制实验。实验结果相比于传统PID控制器具有更高的控制精度。Tao^[4]针对注射油缸活塞的非线性, 提出了具有动态特性的三阶数学模型。采用特殊设计的比例计算机自动化控制器, 基于稳定条件、稳定误差指标和三阶系统非超调阶跃响应条件, 提出了一种确定非超调比例增益的数值算

法, 并验证了该法的有效性。Wang^[5]基于模型预测控制理论和QPhild二次型优化算法, 提出了一种模型预测控制器的设计方法, 以保证其无超调输出, 同样经仿真实验验证了位置控制器性能。Akasaka^[6]利用注射机中塑化机构的数学模型导出的离散时间状态方程, 使用高增益观测器对喷油压力进行同步位置控制, 在很小的时滞下获得精确的螺旋位置估计。

针对实际系统存在的非线性和时变性问题, Widrow^[7]提出了自适应滤波器算法, 其结构简单, 易于硬件实现, 适合工程应用。IIR滤波器在普通FIR滤波器的基础上加入输出反馈, 由于无限冲击响应的存在, 使IIR滤波器能够以很低的滤波器阶数达到高精度控制^[8]。考虑到带反馈的IIR滤波器的权值迭代算法需要进行复杂矩阵运算, 且容易陷入局部最优, 本研究以二阶IIR滤波器为例, 采用具有全局最优的遗传算法改进IIR滤波器的权值更新算法, 并用于注射机注射油缸的非线性、时变位置的计算机自动化控制, 验证基于权值优化算法IIR滤波器的控制有效性。

收稿日期: 2020-01-03

联系人, 3258681@qq.com

1 自适应IIR滤波器原理

图1为带输出反馈的 M 阶IIR滤波器结构图^[9]。其中, $a_i (i=0,1,2,\dots,M)$ 和 $b_j (j=1,2,\dots,N)$ 为IIR滤波器的待更新权值系数。 x 为系统输入, y 为系统输出, e 为系统误差, r 为系统设定的参考输出, Z 为延时算子, Z^{-1} 为单位时间延时算子。

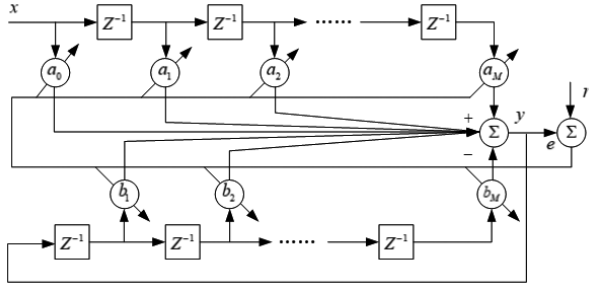


图1 自适应IIR递归滤波器的结构图

Fig.1 Structure diagram of adaptive IIR recursive filter

对于 M 阶IIR滤波器, k 时刻系统输出 y 的表达式为:

$$y(k) = \sum_{i=0}^M a_i(k)x(k-i) + \sum_{j=1}^M b_j(k)y(k-j) \quad (1)$$

将式(1)进行等式变换, 得到IIR滤波器的输入 x 与输出 y 关系为:

$$(1 - b_1 z^{-1} - \dots - b_M z^{-M})y = (a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_M z^{-M})x \quad (2)$$

对于二阶IIR滤波器, 即 $M=2$ 时有:

$$(1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-2})y = (a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2})x \quad (3)$$

得到相应 z 域传递函数为:

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_M z^{-M}}{1 - b_1 z^{-1} - \dots - b_M z^{-M}} \quad (4)$$

其稳定性充要条件^[10]为:

$$\begin{cases} b_2 + b_1 / 2 \leq 1 \\ b_2 - b_1 / 2 \leq 1 \\ b_2 \geq -1 \end{cases} \quad (5)$$

定义系统误差 $e(k)$ 为参考输出信号与滤波器输出信号的差值:

$$e(k) = d(k) - y(k) = d(k) - \left[\sum_{m=1}^M a_m(k)d(k-m) + \sum_{n=0}^N b_n(k)x(k-n) \right] \quad (6)$$

定义权值向量 $\mathbf{W}(k)$ 为:

$$\mathbf{W}(k) = [a_0(k), a_1(k), a_2(k), b_1(k), b_2(k)]^T \quad (7)$$

权值向量 $\mathbf{W}(k)$ 作为IIR滤波器的系统参数, 需要采用自适应算法对其进行更新迭代。一般采用梯度下降法实现。但将梯度下降法应用到IIR滤波器的权值更新过程中需要进行复杂的矩阵运算, 如式(8)所示, 且容易收敛到局部最优解。为了解决以上问题, 采用遗传算法对权值 $\mathbf{W}(k)$ 进行优化。

$$\mathbf{W}(k+1) = \mathbf{W}(k) - \mu \frac{\partial J(k)}{\partial \mathbf{W}(k)} \quad (8)$$

$$\frac{\partial J(k)}{\partial w_i(k)} = \begin{cases} \sum_{m=0}^2 a_m(k) \frac{\partial y(k-m)}{\partial a_m(k)} + x(k-m) \\ \sum_{n=1}^2 b_n(k) \frac{\partial y(k-n)}{\partial b_n(k)} + y(k-n) \end{cases} \quad (9)$$

2 基于遗传算法的权值优化

遗传算法^[11]属于仿生算法, 是通过模拟“优胜劣汰, 适者生存”的自然法则搜寻最优解的一种方法。基于以下基本思想: 根据一定的规则生成经过基因编码的初始种群; 依据所求解的问题构造一个适应度函数; 应用适应度函数对种群进行评价, 根据“优胜劣汰”的评价结果选择适应度高的个体执行遗传操作(交叉、变异), 繁衍适应度更强的下一代种群。经过不断的繁衍进化最终获得适应度最好的个体作为问题的最优解。

基于遗传算法进行IIR滤波器权值优化的具体步骤如下:

第一步: 对权值向量 $\mathbf{W}(k)$ 进行编码。IIR滤波器权值优化算法可以等价成非线性函数优化问题, 故采用实数编码方法, 权值向量 $\mathbf{W}(k)$ 中每个分量的取值区间依据现有知识和经验设定, 以缩小搜索范围。各分量范围为: $0 < a_0 < 1$; $0 < a_1 < 1$; $0 < a_2 < 1$; $-2 < b_1 < 2$; $-2 < b_2 < 2$ 。各分量区间均作归一化处理, 映射到区间 $[0, 1]$ 上。

第二步: 适应度函数与系统误差的均差值成反比, 适应度函数值越小代表个体的适应度越强。适应度函数 J 定义为:

$$J = \frac{1}{\sum_i^N e(i)^2 + 1} \quad (10)$$

第三步: 采用轮盘赌方式, 按个体适应度函数值排序选择一定淘汰比例, 剩下个体作为下一代的父体参与繁殖, 均匀随机地对父体进行重组, 以生成新个体补偿淘汰的个体, 维持种群数量不变。

第四步: 采用整体杂交策略。在区间 $[0, 1]$ 随机选择杂交概率 p , 对于父体向量 $w_i = (a_{0i}, a_{1i}, a_{2i}, b_{1i}, b_{2i})$ 和 $w_j = (a_{0j}, a_{1j}, a_{2j}, b_{1j}, b_{2j})$, 产生子代 $w_k = (a_{0k}, a_{1k}, a_{2k}, b_{1k}, b_{2k})$ 的算法为:

$$w_k = p \cdot w_i + (1-p) \cdot w_j \quad (11)$$

第五步: 采用均匀变异策略对种群进行变异操作。在区间 $[0, 1]$ 随机取变异概率 q , 对于个体 $w_i = (a_{0i}, a_{1i}, a_{2i}, b_{1i}, b_{2i})$ 有:

$$w_i' = w_i + (1-q) \cdot w_i \quad (12)$$

第六步: 计算种群适应度函数,若当前进化代数达到设定值或参数已收敛到指定精度,则遗传算法的寻优过程结束,此时对应于最大适应度的参数即具有全局最优的权值向量辨识结果,否则返回第三步。

3 注射机注射位置控制的计算机仿真实验

图2为基于IIR滤波器权值优化算法的注射机注射位置控制系统结构图。由于注射油缸的位置控制受到油温、模具温度、熔融物料湿度等因素影响,想要建立一个在任何条件和时间下都精确的位置控制系统模型是不可能的。然而,在位置控制系统设定位移的工作区,其动态特性近似线性。基于分段线性化的思想,在位置控制系统的工作

范围内,将其近似用传递函数简化模型表征,并用实验证实了这一模型的可行性。在工作范围内,位置控制系统可看成由电流环、速度环和位置环组成,如图3所示。

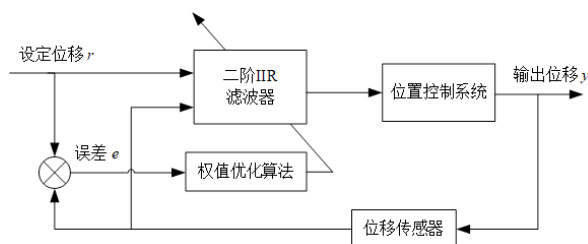


图2 基于IIR滤波器权值优化算法的位置控制系统结构图
Fig.2 Structure chart of position control system based on weight optimization algorithm of IIR filter

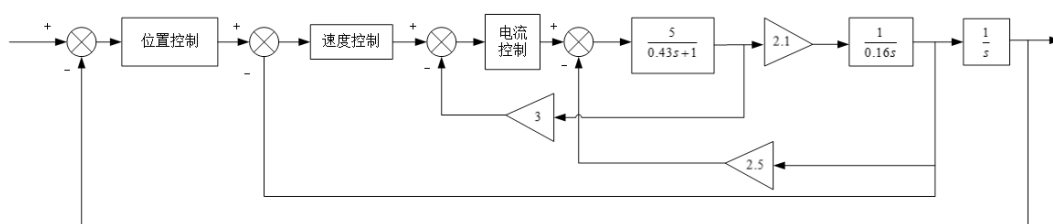


图3 位置控制系统传递函数框图

Fig.3 Transfer function block diagram of position control system

该位置控制系统用三阶传递函数 $G(s)$ 表示如下:

$$G(s) = \frac{16.52}{s(0.14s+1)(0.5s+1)} \quad (13)$$

二阶IIR滤波器的输入为系统设定位移 r 和系统输出位移 y ,系统误差 e 为权值优化算法的输入。采用遗传算法进行权值优化,种群规模为100,淘汰比例为0.4,交叉概率0.5,变异概率0.01。

为了验证以上算法对于设定位移和变轨迹设定位移的注射位置控制精度,分别采用阶跃输入信号和三角波输入信号进行测试,实验结果与基于梯度下降法更新权值的普通IIR滤波器进行对比。

图4为2种权值更新算法的IIR滤波器对阶跃输入信号的系统响应,图5为2种权值更新算法的IIR滤波器对三角波输入信号的系统响应。从图4和图5可以看出,对于阶跃输入信号,基于梯度下降法的普通IIR滤波器存在系统振荡现象,调节时间较长。

基于遗传算法的改进IIR滤波器无超调,动态响应快,具有更高的稳态控制精度;对于三角波输入信号,改进IIR滤波器对于变轨迹位置跟踪具有更好的动态跟踪效果,控制精度高。而普通IIR滤波器则具有较大的跟踪误差,表明普通IIR滤波器的权值陷入了局部最优值。此外,从仿真过程中的单步执行时间来看,进行矩阵运算的普通IIR滤波器需要 2.5×10^{-4} s,而基于遗传算法的改进IIR滤波器的单步执行时间只需要 4.6×10^{-5} s,可见改进IIR滤波器在运算复杂度方面得到很大改善。

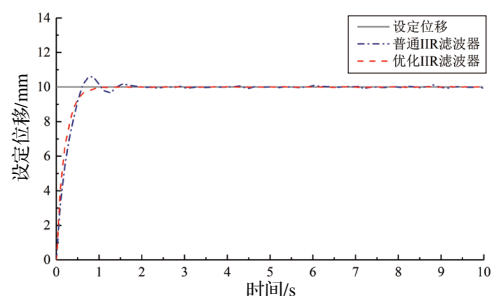


图4 阶跃输入信号的仿真实验结果
Fig.4 Simulation results of step input signal

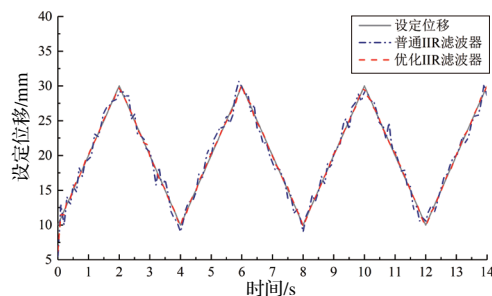


图5 三角波输入信号的仿真实验结果
Fig.5 Simulation experiment results of triangle wave input signal

4 结论

选择遗传算法作为权值优化算法可以避免IIR滤波器使用复杂的矩阵运算进行权值迭代,并且遗传算法的搜索方式具有全局最优性,能够提高IIR滤波器的控制精度。

分别输入了阶跃信号和三角波信号进行系统仿真实验,以验证所设计的二阶滤波器对于固定输入信号和变轨迹输入信号的位置控制精度。通过与基于梯度下降法的

塑料注射机虚拟仿真系统的动画研究

杨家明

(广西师范大学设计学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 采用ProE Plastic Advisor软件研究了塑料注射机虚拟仿真系统,对汽车悬架垫片注塑工艺参数的仿真研究得到了不同注射工艺参数的动画。仿真结果表明:汽车悬架垫片的最佳浇口位置位于零件中心。选取最佳浇口位置为注射位置,汽车悬架垫片的总注射时间为1.24 s,最大注射压力为40.32 MPa,最大注射温度和最小注射温度分别为240℃和239.62℃。冷却过程中,注射位置附近的温差最大,高于平均温度2.92℃;距离注射位置最远的位置温差最小,低于平均温度1.67℃。基于注射机虚拟仿真系统,分析了熔体温度和模具温度对塑料注射过程的影响。结果表明,注射压力和注射时间都随着熔体温度的增加而减小,注射时间随着模具温度的增加而增大,而注射压力随着模具温度的增加而减小。

关键词: 注射机; 虚拟仿真; ProE; 工艺参数; 注射质量

中图分类号: TQ320.66; TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1005-3360(2020)07-0093-05

DOI: 10.15925/j.cnki.issn1005-3360.2020.07.025

Animation Research on Virtual Simulation System of Plastic Injection Machine

YANG Jia-ming

(School of Design, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: Using ProE Plastic Advisor software to study the virtual simulation system of the plastic injection machine, the simulation study of the injection process parameters of automobile suspension gaskets had obtained animations of different injection process parameters. The simulation results showed that the best gate position of the automobile suspension gasket was in the center of the part. The best gate position was selected as the injection position. The total injection time of the automobile suspension gasket was 1.24 s, the maximum injection pressure was 40.32 MPa, the maximum injection temperature and the minimum injection temperature were 240℃ and 239.62℃, respectively. During the cooling process, the temperature difference near the injection position was the largest, 2.92℃ higher than the average temperature; the temperature difference at the farthest position from the

收稿日期: 2020-01-03

联系人, 8414206@qq.com

普通IIR滤波器对比结果表明,基于遗传算法的改进IIR滤波器能够实现0超调、快速动态响应以及高控制精度,并且具有很好的动态跟踪效果。

参考文献

- [1] Ebrahim A A, Mohsen B. Experimental study of the effect of gasoline injection start position on cyclic variation of a single cylinder research SI engine[J]. Modares Mechanical Engineering, 2015, 14(12): 35.
- [2] Kucybała P, Sobczyk A. The use of digital hydraulic to the position control of hydraulic cylinder[J]. Journal of KONES, 2016, 23(3): 297-302.
- [3] 杨小华, 李笑, 梁成志. 基于模糊神经网络的注塑机注射缸位置控制研究[J]. 机床与液压, 2012(3): 74-76.
- [4] Tao J, Yang L, Wang X, et al. Nonovershooting position control for unidirectional proportional pump controlled asymmetric cylinder with proportional controller[C]//International Conference on Fluid Power & Mechatronics. IEEE, 2015.
- [5] Wang X, Tao J F, Zhang F R, et al. Precision position control of pump-controlled asymmetric cylinder[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2016, 9(12): 1 753-1 764.
- [6] Akasaka N. Device and method for plasticization control of electric injection molding machine[J]. Espacenet, 2015, 40: 264-268.
- [7] Widrow B, Mccool J M, Larimore M G, et al. Stationary and nonstationary learning characteristics of the LMS adaptive filter[J]. Proceedings of the IEEE, 1976, 64(8): 1 151-1 162.
- [8] LopezValcarce R, Perezgonzalez F. An adaptive recursive filter for autoregressive inputs[J]. International Journal of Adaptive Control & Signal Processing, 2015, 12(6): 467-494.
- [9] Aimi H, Suyama K. IIR filter design using multi-swarm PSO based on particle reallocation strategy[J]. Ieice Transactions on Fundamentals of Electronics Communications & Computer Sciences, 2016, 99(11): 1 947-1 954.
- [10] Sidhu D S, Dhillon J S, Kaur D. Hybrid heuristic search method for design of digital IIR filter with conflicting objectives[J]. Soft Computing, 2016, 21: 3 461-3 476.
- [11] Contaldi C, Vafae F, Nelson P C. Bayesian network hybrid learning using an elite-guided genetic algorithm[J]. Artificial Intelligence Review, 2018, 293: 1-28.