

基于梯度格型联合处理滤波器的注射机 注射速度控制方法

朱良, 郝军红, 裴宝浩

(烟台职业学院, 山东 烟台 264670)

摘要: 基于梯度格型联合处理滤波器(GALJP)对注射机的注射速度设计了自适应控制方法, GALJP滤波器采用正交算法, 反射系数通过伯格公式推导, 权值系数通过归一化LMS算法更新。通过Simulink平台进行仿真控制实验。仿真实验表明: 基于GALJP滤波器的控制算法能够对注射速度实现高精度控制。

关键词: 注射机; 注射速度控制; 格型联合处理滤波器

中图分类号: TQ320.63

文献标识码: A

文章编号: 1005-3360(2020)08-0116-03

DOI: 10.15925/j.cnki.issn1005-3360.2020.08.027

Injection Velocity Control Method of Injection Molding Machine Based on Gradient Lattice Joint Processing Filter

ZHU Liang, XI Jun-hong, PEI Bao-hao

(Yantai Vocational College, Yantai 264670, China)

Abstract: An adaptive control method is designed for the injection speed of the injection molding machine based on the gradient lattice joint processing filter (GALJP). The GALJP filter uses the orthogonal algorithm, the reflection coefficient is derived by the Berg formula, and the weight coefficient is updated by the normalized LMS algorithm. Carry on Simulation control experiment through Simulink platform. The simulation experiment shows that the control algorithm based on GALJP filter can achieve high-precision control of injection speed.

Key words: Injection molding machine; Injection velocity control; GALJP

塑料工业以注塑成型设备为基础, 而注塑成型设备的控制精度和生产效率与塑料工业的发展密不可分。注塑工艺主要分为4个步骤: 溶胶、注射、保压和冷却^[1]。其中, 注塑工艺要求必须要在短时间内完成注射, 将熔融塑料快速充模^[2]。如果注射速度偏低, 则充模时间偏长, 将导致塑料产品密度不均匀, 产生接缝线等问题; 如果注射速度偏高, 则充模时间过短, 熔体流速快可能使物料烧焦、吸入外界气体, 导致塑料产品的表面产生凹凸。因此, 注射速度的控制精度影响了塑料制品的密实度和精度。

Liu^[3]根据单输入单输出系统的解耦鲁棒速度控制法提出线性时不变鲁棒控制器, 证明鲁棒补偿器能够抑制系统参数不确定性、耦合和外部干扰的影响。Wen^[4]提出了一种基于BP神经网络的速度模型, 在Matlab环境下的仿真分析取得了有效的效果。Tian^[5]结合积分滑模控制器的鲁棒性和自适应模糊控制器的自适应调节特性, 设计基于自适应模糊积分滑模控制(AFISMIC)的速度控制器。结果表

明, 该速度控制器具有良好的速度跟踪性能和鲁棒性。

常用自适应滤波器包括FIR滤波器、IIR滤波器和梯度自适应格型联合处理滤波器(GALJP)。FIR和IIR滤波器存在一个共性缺陷是滤波器的权值系数之间的调整并不是独立的, 这限制了FIR滤波器和IIR滤波器的控制精度上限^[6-7]。而采用GALJP滤波器能够采用误差的不同分量分别独立调整权值^[8], 并采用复杂的正交算法, 不涉及反馈引起的稳定性问题^[9]。GALJP滤波器由多节相同的正交单元级联, 具有高度模块化的结构。

本实验对GALJP滤波器的算法进行介绍, 采用归一化LMS算法更新GALJP滤波器的权重系数。针对注塑过程中注射速度问题设计相应GALJP滤波器控制算法, 对非线性现象进行在线自适应控制。在Simulink环境下设计相应的仿真实验, 验证和分析基于GALJP滤波器的在线自适应控制方法的有效性。

1 GALJP滤波器及归一化LMS算法

1.1 GALJP滤波器

GALJP滤波器的单节正交单元的结构如图1所示。多节GALJP滤波器则是由如图1所示的若干个相同结构串联

收稿日期: 2019-12-14

联系人, zhuliang123@yeah.net

而成。

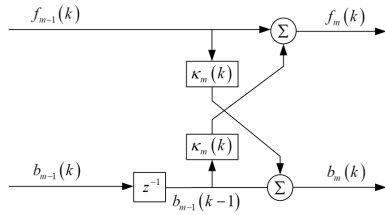


图1 GALJP滤波器的正交单元结构图

Fig.1 Orthogonal element structure of gradient lattice filter

将若干个如图1所示的正交单元串联,可以得到任意阶的GALJP滤波器。GALJP滤波器的正交单元具有如下性质:

(1)各阶后向预测误差 $b_m(k)$ 相互正交。 $E[b_i(k) \cdot b_j(k)] = 0$, $i \neq j$ 。意味着滤波器的前后级解耦,不存在耦合效应,系统的最优化与各级的最优化等价;

(2)各阶前向预测误差 $f_m(k)$ 不正交;

(3)前向预测误差 $f_m(k)$ 与时移前向预测误差 $f_m(k \pm l)$ 正交,其中 $1 \leq l \leq m-i$, $i < m$;

(4)前向预测误差 $f_m(k)$ 与输入的互相关函数和后向预测误差 $b_m(k)$ 与被延时的输入互相关函数相等。

由图1可得, k 时刻前向预测误差 $f_m(k)$ 和后向预测误差 $b_m(k)$ 的递推公式为:

$$f_m(k) = f_{m-1}(k) + \kappa_m^b(k) b_{m-1}(k-1) \quad (1)$$

$$b_m(k) = b_{m-1}(k-1) + \kappa_m^f(k) f_{m-1}(k) \quad (2)$$

式中: m 为正交单元的阶数; κ_m^f 为前向反射系数; κ_m^b 为后向反射系数。

为了使GALJP滤波器系统稳定,采用伯格方法,假定前向反射系数 κ_m^f 和后向反射系数 κ_m^b 相等,采用统一的反射系数 $\kappa_m = \kappa_m^f = \kappa_m^b$ 。

反射系数 κ_m 的递推公式可以通过伯格公式推导:

$$\kappa_m(k+1) = \kappa_m(k) - \beta [f_{m-1}(k) b_m(k) + b_{m-1}(k-1) f_m(k)] \quad (3)$$

式(3)中: β 采用固定步长,在实验中选择合适的固定参数 β 更新反射系数。

将 M 个相同的正交单元串联,构成 M 阶梯度格型联合处理滤波器的结构图如图2所示。

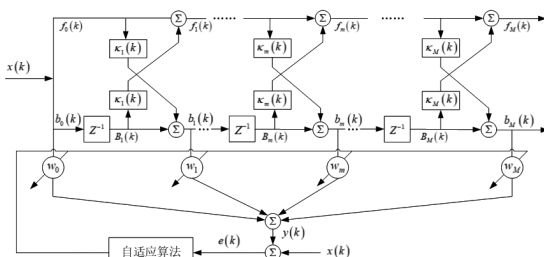


图2 M 阶梯度格型联合处理滤波器结构图

Fig.2 Structure diagram of M -order gradient lattice joint processing filter

在 k 时刻系统的输入信号为 $x(k)$,线性组合模块的输入为各阶后向预测误差 $b_m(k)$ 构成的输入向量 $x(k)$:

$$\mathbf{x}(k) = [b_0(k), b_1(k), \dots, b_M(k)]^T \quad (4)$$

在 k 时刻,权值向量为 $\mathbf{W} = [w_0, w_1, \dots, w_M]^T$,输出信号为

$y(k) = \sum_{i=1}^M w_i b_i(k) = \mathbf{W}^T \mathbf{x}(k)$,误差信号为 $e(k) = x(k) - y(k)$ 。其中, $x(k)$ 为GALJP滤波器的输入信号, $y(k)$ 为GALJP滤波器的输出信号。

在GALJP滤波器中,根据输入信号 $x(k)$ 计算 k 时刻前向预测误差 $f_m(k)$ 和后向预测误差 $b_m(k)$:

$$f_m(k) = f_{m-1}(k) + \kappa_m(k) B_m(k) \quad (5)$$

$$b_m(k) = B_m(k) + \kappa_m(k) f_{m-1}(k) \quad (6)$$

式中: $B_m(k)$ 为后向预测误差 $b_{m-1}(k)$ 经过延时算子所得到的输出。

根据式(7)更新反射系数:

$$\kappa_m(k+1) = \kappa_m(k) - \beta [f_{m-1}(k) b_m(k) + B_m(k) f_m(k)] \quad (7)$$

计算输出信号 $y(k)$,得到误差信号 $e(k)$ 为:

$$e(k) = x(k) - \mathbf{W}^T(k) \mathbf{x}(k) \quad (8)$$

1.2 归一化LMS算法

式(8)中的权值更新算法采用定步长LMS算法。采用定步长LMS算法需要在快速收敛和稳态误差之间做出权衡。在保证收敛的前提下,步长 μ 越大收敛速度越快;当 μ 过大时,过渡过程将出现震荡而导致不收敛。所以,通常选择足够小的步长 μ 以保证系统收敛。考虑到梯度格型联合处理器的计算相对复杂,导致本身的自适应收敛过程较慢,如果仍然采用定步长LMS算法,由于较小的步长因子 μ 会使得过渡过程很长。为了加快模型收敛速度,本实验采用变步长的归一化LMS算法更新权值向量。

取可变步长 μ_n 为:

$$\mu_n = \frac{\tilde{\mu}}{\mathbf{x}^T(k) \mathbf{x}(k)} \quad (9)$$

式(9)中: $\tilde{\mu}$ 为控制步长的常数。

在实际实验中,考虑到可能出现 $\mathbf{x}^T(k) \mathbf{x}(k)$ 为0的情况,在分母上加入常值量 γ ,得:

$$\mu_n = \frac{\tilde{\mu}}{\gamma + \mathbf{x}^T(k) \mathbf{x}(k)} \quad (10)$$

得到归一化LMS算法的更新权值公式为:

$$\begin{aligned} \mathbf{W}(k+1) &= \mathbf{W}(k) + \mu_n e(k) \mathbf{x}(k) \\ &= \mathbf{W}(k) + \frac{\tilde{\mu}}{\gamma + \mathbf{x}^T(k) \mathbf{x}(k)} e(k) \mathbf{x}(k) \end{aligned} \quad (11)$$

由式(11)可知,当输入信号较小时,变步长 μ_n 较大,系统收敛速度快;随着输入的增大,变步长 μ_n 减小,系统的稳

态误差也减小。可见,归一化LMS算法相比于定步长LMS算法具有更快的收敛速度和更小的稳态误差。

2 注射速度控制仿真实验

采用GALJP滤波器在Simulink平台中对注射机的注射速度曲线进行跟踪控制方法如图3所示,相应的Simulink环境下控制系统仿真模型如图4所示。注塑过程注射速度的非线性模型可以用传递函数表示:

$$G(s) = \frac{2.85}{(8.5s+1)(2.7s+1)} \quad (12)$$

控制系统的输入量 x 为设定的速度曲线,输出量为在GALJP滤波器的控制下系统输出的速度曲线 y 。系统误差用于归一化LMS算法更新GALJP滤波器的权值向量。

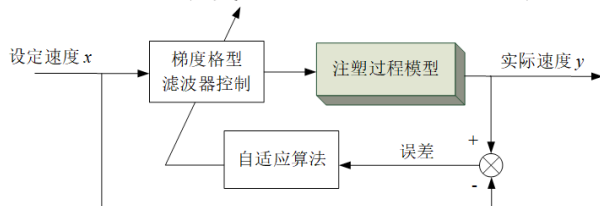


图3 基于GALJP滤波器的注射速度控制方法

Fig.3 Injection velocity control method based on gradient lattice filter

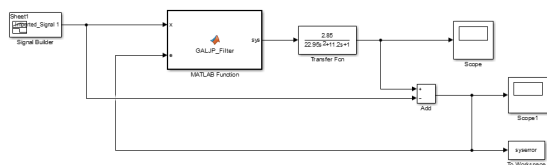


图4 控制系统仿真图

Fig.4 Control system simulation diagram

基于GALJP滤波器、IIR滤波器和FIR滤波器控制方法得到的系统仿真速度曲线如图5所示。由图5可知,相比于IIR滤波器和FIR滤波器,基于GALJP滤波器的控制方法对注塑过程的注射速度曲线具有非常出色的跟踪效果,不存在权值的自适应收敛过程,能够从仿真的一开始就实现对速度曲线的高精度跟踪。此外,仿真实验表明: GALJP的单步执行时间大约为16.456 μ s, IIR滤波器的单步执行时间为11.379 μ s, FIR滤波器的单步执行时间为8.936 μ s。

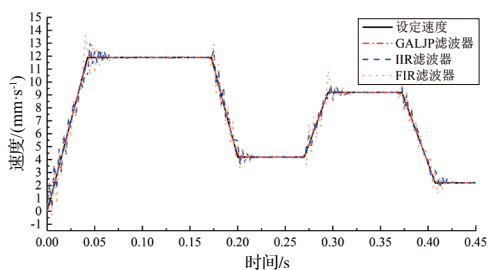


图5 采用GALJP滤波器对注射速度曲线跟踪实验结果

Fig.5 Experimental results of tracking injection velocity curve with gradient lattice filter

仿真实验误差如图6所示。由图6可知,在设定速度曲线的转折处,GALJP滤波器控制产生的误差明显比较大;

当设定速度曲线保持不变时,GALJP滤波器的控制误差几乎接近0。这是由于当设定速度保持不变时,GALJP滤波器的权值将稳定收敛于一组固定值,当设定速度发生突变时,GALJP滤波器的权值需要一个自适应调整的过程以收敛到一组新的固定值。

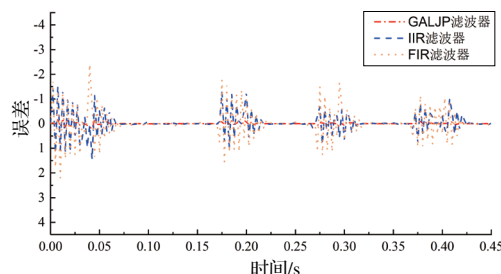


图6 采用GALJP滤波器对注射速度曲线跟踪实验误差

Fig.6 Experimental errors of injection velocity curve with gradient lattice filter

因此,本实验所使用的控制方法对于注射速度的非线性二阶模型具有非常理想的控制效果。

3 结论

采用梯度格型联合处理滤波器对注塑过程的注射速度进行非线性控制。GALJP滤波器不具有反馈回路,故不存在控制系统的不稳定问题,且控制精度远远高于FIR和IIR滤波器。GALJP滤波器的权值更新采用归一化LMS算法,能够通过变步长加速权值的收敛速度。通过对设定注射速度曲线进行跟踪表明,基于GALJP滤波器的控制算法能够对注射速度实现高精度控制。

参考文献

- [1] 陈茂林. 注塑机注射螺杆速度控制算法研究与实现[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2016.
- [2] Chen C C, Vu L T, Qiu Y T. Study on injection molding of shell mold for aspheric contact lens fabrication[J]. Procedia Engineering, 2017, 184: 344-349.
- [3] Liu H, Hou X, Kim J, et al. Decoupled robust velocity control for uncertain quadrotors[J]. Asian Journal of Control, 2015, 17(1): 225-233.
- [4] Wen Q G, Sun K F, Yin H. A method of temperature prediction and velocity control based on BP artificial neural network[C]//International Conference on Information System & Artificial Intelligence, 2017.
- [5] Tian Q, Wei J, Fang J, et al. Adaptive fuzzy integral sliding mode velocity control for the cutting system of a trench cutter[J]. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2016, 17(1): 55-66.
- [6] Liu C C, Liu Y Q, Zhao Y J, et al. A novel IIR wideband beamforming algorithm based on the equivalent design of laguerre filter[J]. Acta Electronica Sinica, 2015, 43(2): 399-404.
- [7] Cousseau J, Diniz P S R, Sentoni G, et al. On orthogonal realizations for adaptive IIR filters[J]. International Journal of Circuit Theory and Applications, 2015, 28(5): 481-500.
- [8] Shanbhag N R, Parhi K K. A pipelined adaptive lattice filter architecture[J]. IEEE International Symposium on Circuits & Systems, 2017, 4: 1-14.
- [9] Shiraishi S I, Haseyama M, Kitajima H. An implementation of a normalized ARMA lattice filter with a CORDIC algorithm[J]. Electronics & Communications in Japan, 2015, 84(4): 76-86.