

PSO 算法在 3D 打印喷头温度传感器 非线性特性校正中的应用

陈 丽, 刘益剑, 郭爱琴, 程继红

(南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 将微粒群优化(PSO)算法应用于 3D 打印喷头温度检测系统的非线性特性校正. 在温度传感器特性无法准确获取的情况下, 给出了基于 PSO 算法和逆模型实现非线性特性的线性化校正的一般实现思路和步骤. 首先对采集到的样本进行特征分析, 提炼出温度传感器非线性特性的逆模型, 再利用 PSO 算法对逆模型中未知参数进行优化求解, 从而实现了 3D 打印喷头温度非线性特性的线性化校正. 最后, 对 3D 打印喷头温度检测系统进行了实验研究, 对比了逆模型的 PSO 参数优化求解和 Matlab 曲线拟合求解的实验结果, 验证了本文基于 PSO 的喷头温度非线性特性的线性化校正方法的可行性, 并可以扩展到一般非线性传感器的线性化校正应用中.

[关键词] 微粒群算法, 3D 打印喷头, 逆模型, 温度传感器, 非线性

[中图分类号] TP212 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2016)04-0057-04

Application of PSO Algorithm to Nonlinear Characteristics Correction of 3D Printing Nozzle Temperature Sensor

Chen Li, Liu Yijian, Guo Aiqin, Cheng Jihong

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: In this paper, the Particle Swarm Optimization(PSO) algorithm is applied to nonlinear characteristic adjustment of 3D printing nozzle temperature sensor. On the occasion that the nonlinear characteristic of the sensor is not available, a general method and an implementation procedure for linearization of the nonlinear sensor based on inverse model are proposed in this paper. Firstly, the sample data are obtained and analyzed. Then the inverse model of temperature sensor is given and the parameters in the inverse model are optimized by the PSO. And based on the optimized inverse model, the goal of the linearization of the sensor nonlinear characteristic is realized. At last, the experiments are conducted, and the inverse model of PSO parameters optimization and Matlab curve fitting solution of the experimental results are compared. The results validate the method proposed in this paper effective and it can be generalized to other nonlinear sensor applications.

Key words: particle swarm optimization(PSO) algorithm, 3D printing nozzle, inverse model, temperature sensor, nonlinear

20 世纪 80 年代末、90 年代初发展起来的 3D 打印(three dimensional printing, 也称快速成型、增材制造等)技术, 突破了传统的加工模式, 可快速地制造形状极为复杂的工件, 被认为是近 20 年制造技术领域的一次重大突破^[1]. 而 3D 打印喷头是 3D 打印机的关键部件之一, 其机械结构复杂, 在运行过程中, 会受到温度的影响, 因此喷头温度的稳定是保证喷头吐丝连续均匀的关键. 但是喷头温度检测系统中的传感器特性往往是非线性的.

在传感器特性无法准确获知的情况下, 需要对实验得到的传感器非线性特性曲线进行线性化校正, 而校正的精度又会直接影响测量系统的精度. 因此, 研究学者对非线性传感器的校正进行了很多研究^[2-6]. 其中硬件校正法成本高、效果差, 且不易扩展到其他非线性传感器应用; 曲线拟合法^[4-5]需建立在最小二乘法基础上, 应用方便, 但是要求被辨识的参数具有线性关系; 而以微粒群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)为代表的进化算法, 能够处理参数本质非线性的优化求解, 具有算法简单和全局寻优能

收稿日期: 2016-06-17.

基金项目: 国家自然科学基金(61304227, 61273114).

通讯联系人: 刘益剑, 博士, 副教授, 研究方向: 非线性系统理论、机器人 3D 打印. E-mail: 63055@njnu.edu.cn

力,在函数优化、网络训练和参数整定等许多领域中得到应用^[7-12].

本文为了解决 3D 打印喷头温度检测系统的非线性校正问题,在对比了曲线拟合法、硬件校正法、微粒群优化(PSO)等算法之后,采用由 Kennedy 和 Eberhart 等人提出的 PSO 算法来进行喷头温度检测系统的非线性校正. 首先通过对温度传感问题的描述,给出了基于逆模型的非线性校正方法,然后利用 PSO 算法对逆模型中的参数在一定的性能指标下进行优化求解,并采用 Matlab 曲线拟合求解的实验进行精度对比,最后结合 3D 打印喷头温度实验,验证了本文的基于 PSO 的传感器非线性校正方法的有效性.

1 3D 温度检测系统的逆模型线性化校正

假设 3D 打印喷头温度传感器的输入为 T ,输出为电压信号 U ,而喷头温度传感器的变换关系 $U=f(T)$ 未知,温度传感器非线性校正的结构如图 1 所示.

3D 打印温度传感器的非线性校正的目标,是要最终测量得到的 T' 正比于被测量的温度值 T ,从而达到线性化测量的目的. 由图 1 可知,如果非线性校正环节的特性 $\Psi(U)=f^{-1}(T)$,即取温度传感器的逆模型,则就能够实现温度传感器的非线性校正;但是问题在于 $f(T)$ 未知,所以逆模型关系无法直接得到. 本文采用由数据样本点分析确定温度传感器的逆模型.

假设逆模型函数的拟合方程为

$$T'=\alpha_n U^n+\alpha_{n-1} U^{n-1}+\cdots+\alpha_1 U^1+\alpha_0=\alpha U,$$

(1)

式中,系数 $\alpha=(\alpha_n,\alpha_{n-1},\alpha_1,\alpha_0)^T,U=[U,1]^T,n$ 的大小由非线性特性复杂程度决定,若 $n=3$,则有

$$T'=\alpha_3 U^3+\alpha_2 U^2+\alpha_1 U^1+\alpha_0,$$

(2)

式中, $\alpha_3,\alpha_2,\alpha_1,\alpha_0$ 为待定常数,即需要求解的参数. 采用 PSO 算法进行参数优化求解的流程^[7-12],在逆模型结构已知的情况下,就可以优化求解得到参数 α . 系数 α 的确定需要满足一定的准则,本文采用如下的残余标准差作为辨识准则,同时也作为 PSO 的适应度评价函数,即

$$f_{\text{fitness}}=\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N [T'(k)-T(k)]^2}{N-1}},$$

(3)

式中, f_{fitness} 为适应度评价函数; T' 为校正函数的输出; T 为实际输出; N 为训练样本点个数.

2 基于 PSO 算法的 3D 打印喷头温度非线性特性校正

2.1 训练样本采集

在 3D 打印喷头温度检测系统中,采用如图 2 所示电路的测温电路,THERM1 端为电路输入端口,连接 3D 打印喷头的温度传感器;E-THERM1 端为输出端口,信号范围为 0~5 V,连接到单片机的模拟接口,经 A/D 转换成数字编码信号.

通过将 3D 打印喷头加热,利用串口显示不同温度时的电压测量值,共选取 21 组测量数据作为训练样本,如表 1 所示.

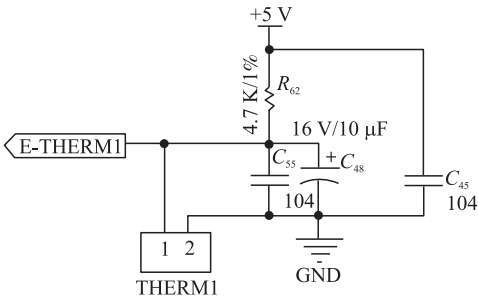


图 2 3D 打印喷头温度检测电路

Fig. 2 Temperature measurement circuit for 3D printing nozzle

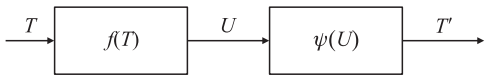


图 1 传感器非线性校正系统结构

Fig. 1 Structure of sensor nonlinear correction system

表 1 温度传感器训练样本

Table 1 Training data for temperature sensor

温度 $T/^{\circ}\text{C}$	电压 U/V	温度 $T/^{\circ}\text{C}$	电压 U/V	温度 $T/^{\circ}\text{C}$	电压 U/V
25	4.775 5	46	4.494 9	67	4.028 1
28	4.745 5	49	4.440 1	70	3.946 1
31	4.712 4	52	4.381 3	73	3.860 7
34	4.676 0	55	4.318 5	76	3.772 2
37	4.636 2	58	4.251 8	79	3.680 8
40	4.592 8	61	4.181 0	82	3.586 7
43	4.545 8	64	4.106 4	85	3.490 4

根据表 1 的训练样本点,绘制出温度传感器的逆模型曲线,如图 3 所示。

2.2 逆模型的 PSO 参数优化求解

通过对曲线的分析,采用一元线性拟合满足不了精度的要求,为了提高系统的测量精度,使输出具有较高的数据拟合度,采用多项式来表示拟合曲线

$$T'=\alpha_2U^2+\alpha_1U^1+\alpha_0,$$
 (4)

式中, $\alpha_2,\alpha_1,\alpha_0$ 为待定系数。

在逆模型结构确定情况下,利用 PSO 算法优化求解逆模型的参数 $\theta=[\alpha_2,\alpha_1,\alpha_0]$ 。其中,利用微粒群算法优化求解逆模型的流程图如图 4 所示。

根据 PSO 算法编写实现逆模型参数优化的 PSO 算法程序;在 PSO 优化求解中,根据经验选取待定参数的取值范围: $\alpha_0\in(-200,100),\alpha_1\in(0,200),\alpha_2\in(-100,100)$;参数 $w=1.3\sim 0.2$,表示惯性权重从 1.3 逐渐线性衰减到 0.2;加速度常数 $c_1=0,c_2=0.5$;5 种群规模 $m=30$;因为待优化求解的参数为 3 个,故取 $D=3$ 。

2.3 实验结果分析

经过 PSO 优化求解,得到参数 $\alpha_2=-19.353\ 5,\alpha_1=114.701\ 5,\alpha_0=-79.938\ 5$,性能指标 $f_{\text{itness}}=0.694\ 8$ 。

采用跟训练样本同样的实验手段,得到另外 21 组测试样本,如表 2 所示。

表 2 温度传感器的验证样本点

Table 2 Validation data of temperature sensor

温度 $T/^{\circ}\text{C}$	电压 U/V	温度 $T/^{\circ}\text{C}$	电压 U/V	温度 $T/^{\circ}\text{C}$	电压 U/V
26	4.765 9	47	4.477 0	68	4.001 1
29	4.734 8	50	4.420 9	71	3.918 0
32	4.700 6	53	4.360 8	74	3.831 6
35	4.663 1	56	4.296 7	77	3.742 0
38	4.622 1	59	4.228 6	80	3.649 7
41	4.577 6	62	4.156 6	83	3.554 8
44	4.529 2	65	4.080 7	84	3.522 7

针对验证样本点,将 $\alpha_2,\alpha_1,\alpha_0$ 的值代入式(4)中,计算出不同 T_i 时的 T'_i 的值,绘制校正曲线和实际测量得到的曲线,如图 5(a)所示,可以看出:训练曲线和验证曲线拟合的很好,其残余标准差仅为 0.704 4。

为了与本文的 PSO 逆模型求解方法进行对比,采用 Matlab 中的非线性数据拟合函数 lsqcurvefit 命令对逆模型中的参数进行求解,得到最优参数 $\alpha_2=-19.745\ 3,\alpha_1=119.487\ 6,\alpha_0=-93.145\ 8$,非线性拟合曲线如图 5(b)所示,相应计算得到性能指标 $f_{\text{itness}}=0.770\ 7$ 。

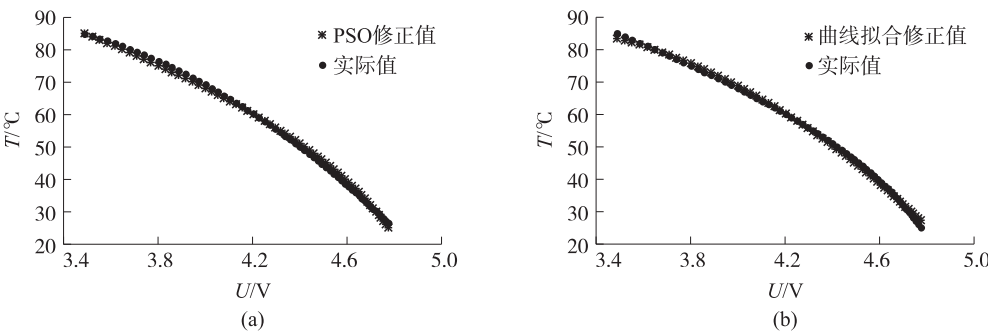


图 5 温度传感器曲线校正对比图

Fig. 5 Curve correction comparison chart of temperature sensor

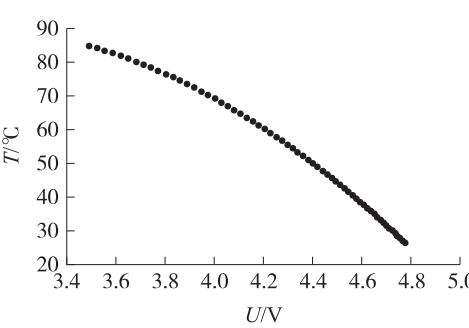


图 3 温度传感器逆模型训练样本曲线

Fig. 3 Training data curve of the inverse model of temperature sensor

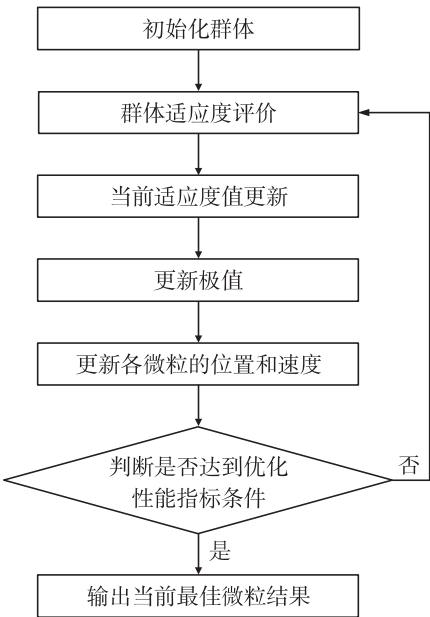


图 4 PSO 参数优化求解流程图

Fig. 4 The flowchart of PSO parameter optimization

通过上述逆模型的 PSO 参数优化求解和 Matlab 曲线拟合求解的实验结果,可以看出本文采用的 PSO 逆模型求解算法的非线性拟合精度高于 Matlab 非线性曲线拟合法,所以本文采用的 PSO 逆模型方法是有效可行的^[13].

3 结语

本文运用 PSO 算法探讨 3D 打印喷头温度传感器的非线性校正问题,给出了针对温度传感器非线性校正的逆模型线性化实现方法和 PSO 参数优化求解流程. 实验表明:该算法实现简单、易于理解,得到的温度传感器非线性校正曲线精度较高,且有效、可行. 而本文的逆模型与 PSO 算法结合实现特性未知的非线性传感器元件的线性化校正的思路可以推广到一般的非线性系统的校正应用中.

[参考文献](References)

- [1] 杨继全,戴宁,侯丽雅. 三维打印设计与制造[M]. 北京:科学出版社,2013:1-5.
YANG J Q,DAI N,HOU L Y. 3D printing design and manufacturing[M]. Beijing:Science Press,2013:1-5.(in Chinese)
- [2] 刘君华. 智能传感器系统[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2000:264-289.
LIU J H. Intelligent sensor technology[M]. Xi'an:Xidian University Press,2000:264-289.(in Chinese)
- [3] 张长利,张伶俐,王叔文,等. 基于传感器校正与融合农用旋翼无人机姿态解算[J]. 东北农业大学学报,2015,46(11):70-76.
ZHANG C L,ZHANG L Y,WANG S W,et al. Attitude algorithm research in the agricultural rotor that based on the sensor calibration and fusion[J]. Journal of Northeast agricultural university,2015,46(11):70-76.(in Chinese)
- [4] 靳莹瑞,许京雷. 传感器校正及融合的实现技术[J]. 中原工学院学报,2010,21(5):1-4.
JIN Y R,XU J L. The correction technology and data fusion of sensor[J]. Journal of Zhongyuan university of technology,2010,21(5):1-4.(in Chinese)
- [5] 唐家德. 基于 MATLAB 的非线性曲线拟合[J]. 计算机与现代化,2008(6):15-19.
TANG J D. Nonlinear curve fitting based on MATLAB[J]. Computer and modernization,2008(6):15-19.(in Chinese)
- [6] 林贤坤,覃柏英. 微粒群算法在传感器优化配置中的应用[J]. 控制工程,2013,20(1):84-92.
LIN X K,QIN B Y. Application of particle swarm optimization to optimal sensor placement[J]. Control engineering of China,2013,20(1):84-92.(in Chinese)
- [7] 程继红,刘益剑. 微粒群优化算法在传感器非线性自校正中的应用[J]. 传感器技术,2005,24(10):74-76.
CHENG J H,LIU Y J. Application of PSO algorithm in sensor nonlinear self rectification[J]. Journal of transducer technology,2005,24(10):74-76.(in Chinese)
- [8] KENNEDY J,BLACKWELL T. Particle swarm optimization[C]. USA:IEEE,1995:1 942-1 948.
- [9] 夏桂梅,苏长慧. 基于 Powell 搜索法的简化微粒群算法[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2015,36(2):126-130.
XIA G M,SU C H. A simplified particle swarm algorithm based on powell search method[J]. Journal of Ningxia university (natural science edition),2015,36(2):126-130.(in Chinese)
- [10] 李厚儒,南敬昌. 拟牛顿粒子群算法在非线电路谐波平衡方程中的应用[J]. 计算机应用与软件,2013,30(2):103-109.
LI H R,NAN J C. Application of Quasi-Newton particle swarm algorithm in nonlinear circuit harmonic balance equation[J]. Computer applications and software,2013,30(2):103-109.(in Chinese)
- [11] 郝武伟. 微粒群算法的性能分析与优化[J]. 济南职业学院学报,2016(2):102-105.
HAO W W. Performance analysis and optimization of particle swarm algorithm[J]. Journal of Jinan vocational college,2016(2):102-105.(in Chinese)
- [12] 朱学荣,郝淑琴. 微粒群算法在工程项目资源均衡优化中的应用[J]. 内蒙古工业大学学报(自然科学版),2013,32(1):16-20.
ZHU X R,BING S Q. The application of PSO in unlimited resource leveling optimization[J]. Journal of Inner Mongolia university of technology(natural science edition),2013,32(1):16-20.(in Chinese)
- [13] 曹弋,刘怀,王恩荣. MATLAB 教程及实训[M]. 北京:机械工业出版社,2008:83-109.
CAO Y,LIU H,WANG E R. MATLAB tutorials and training[M]. Beijing:China Machine Press,2008:83-109.(in Chinese)

[责任编辑:陈 庆]