

基于 MATLAB 的改进仪表测量精度的研究

贾云涛 胡耀元 张建永 岳伟

(北京无线电计量测试研究所 北京 100039)

摘要: 提出了一种基于 MATLAB 的能够有效提高仪器仪表测量精度的方法,该方法结合粒子群优化智能算法和灰色预测模型能够有效改善传统仪器仪表的测量精度。运用 MATLAB 编程实现粒子群非齐次灰色系统,应用仪表已知少量误差数据对系统进行训练得到仪表满量程数据误差的拟合模型,进而可对仪器量程内任意值进行修正。通过实验证明,该系统具有经济性、实用性和准确性高的特点。

关键词: 灰色系统; 粒子群优化算法; 仪表精度

中图分类号: TP206+.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 420.99

Study on the improvement of instruments accuracy based on MATLAB

Jia Yuntao Hu Yaoyuan Zhang Jianyong Yue Wei

(Beijing Institute of Radio Metrology & Measurement, Beijing 100039, China)

Abstract: The paper presents an approach which, combines the particle swarm algorithm and gray forecast model, can effectively improve the Meter accuracy. The implementation of particle swarm non-homogeneous grey system, using MATLAB programming, uses a small amount of the instrument known error data as training data to get the full-scale error fitting model. Then the model can be used to amend all values in the range. The system has the advantages of economy, practicality and high accuracy characteristic proved by experiments.

Keywords: gray system; particle swarm optimization; meter accuracy

1 引言

在现实的生产和生活中,仪器仪表类工具到处可见,成为我们生产和研究不可缺少的帮手。然而随着使用时间和使用次数的增加,加之使用环境的复杂导致仪表的测量精度随时间动态变化。由于影响仪表测量精度的因素是多样的,有已知的,也有未知的,因此很难通过线性拟合的方法去分析仪表测量误差。如何经济有效地保证和提高这些测量仪器的精度,成为了众多科研人员和生产者所考虑的问题。近年来智能算法^[1-3]逐渐应用于复杂优化求解和工程建模领域,文献[4]应用灰色系统理论实现了仪器精度的提高目的,但准确度和适用性都受很大的限制。

本文基于编程软件 MATLAB 设计了一种结合改进灰色系统理论和粒子群优化算法的系统误差修正系统,该系统能够有效地改善仪器仪表测量的精度。为经济有效地提高测量仪器的精度提供了一条新的途径,具有重要的实用性、经济性和有效性。

2 PSO-NGM 模型介绍

在灰色模型的基础上加入非齐次方程量,并结合粒子群优化算法得到组合模型,即粒子群非齐次灰色模型 PSO-NGM (particle swarm optimization non-homogenous grey model)。将它应用于提高仪器精度上的思想就是:选取标准仪器对待测仪器量程内进行少量数据测试,将标准与被测仪器示值差作为误差,用误差数据去训练 PSO-NGM 模型就可以得到仪器满量程内误差模型。进而可对被测仪器满量程内任意测量值进行修正,提高仪器精度。

原始灰色模型^[5-6]是将训练数据累加后拟合指数方程,这就给模型的应用带来了很大的限制,本文提出在拟合指数模型的基础上添加二次曲线方程的思想。即将原始的累加序列拟合成:

$$\hat{x}^{(1)}(t) = C_1 e^{vt} + C_2 t^2 + C_3 t + C_4 \quad (1)$$

式中: v 、 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为待定系数。利用粒子群优化算

法^[7-8]的优势确定待定系数 v , 而 $C_1、C_2、C_3、C_4$ 可通过最小二乘递推算算法求得。最终经过累减反运算得到原始序列的拟合曲线。

PSO-NGM 模型的流程图如图 1 所示。

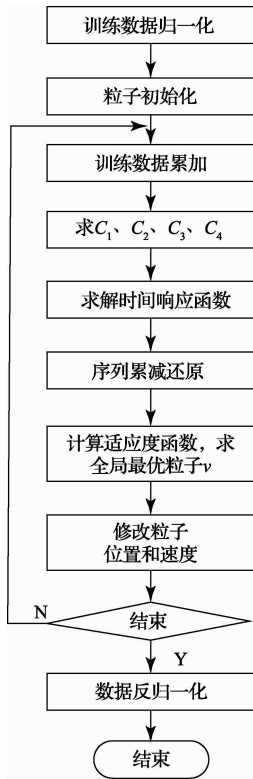


图 1 PSO-NGM 模型流程

2.1 归一化和反归一化

由于模型应用了灰色系统理论, 而灰色理论中要求训练数据为非负^[9]。现实中仪器测量误差不可能保证总为正数, 因此, 需要先对原始误差数据进行归一化处理:

$$y = 1 * (x - xmin) / (xmax - xmin) + (0) \quad (2)$$

得到的新数据是一系列在 (0, 1) 范围内的归一化数据, 可以用来进行模型训练。同理, 在模型训练结束再进行反归一化得到复原的数据值。

2.2 初始化过程

用离子群优化算法寻求最优解需要先对代表解的粒子进行初始化。包括粒子初始速度和位置、迭代次数和种群大小等。

2.3 参数 $v、C_1、C_2、C_3、C_4$ 的求解过程

通过粒子群算法不断迭代优化得到最优粒子 v 的值后, 令:

$$A = \begin{bmatrix} e^v & 1 & 1 & 1 \\ e^{2v} & 2^2 & 2 & 1 \\ \vdots & \dots & \dots & \dots \\ e^{nv} & n^2 & n & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} x^{(1)}(1) \\ x^{(1)}(2) \\ \vdots \\ x^{(1)}(n) \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

应用最小二乘法可求得参数 $C_1、C_2、C_3、C_4$ 的估计值:

$$C = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (4)$$

2.4 数据还原过程

根据 PSO 算法^[10]和最小二乘法迭代后可得到 $v、C_1、C_2、C_3、C_4$ 的值, 即得到了序列累加后的拟合方程式(1), 再经过累减运算就可以得到还原序列:

$$\hat{x}^{(0)}(t) = \hat{x}^{(1)}(t) - \hat{x}^{(1)}(k-1) \quad (5)$$

2.5 粒子速度和位置更新过程

每次优化后根据每个粒子对应的适应度函数大小判定粒子的优劣。求取全部粒子中的最优粒子。其他粒子根据式(6)和式(7)改变位置和速度后继续进化, 直到达到指定的进化次数为止。

$$v_{ij}(t+1) = \omega v_{ij}(t) + c_1 \times rand() \times (pbest_{ij} - x_{ij}(t)) + c_2 \times rand() \times (gbest_j - x_{ij}(t)) \quad (6)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (7)$$

3 PSO-NGM 模型的应用分析

选取测量工作中普遍使用的万用表作为研究对象, 应用本系统对其测量误差进行修正, 为了验证本系统的精确性和有效性, 实验结果与灰色系统的修正结果进行对比。其实验过程如下:

选用 5720A 作为标准源, 其输出值作为标准值。选用精度较低的 DT-830 数字万用表对标准源输出电压进行测量, 测量值作为待修正数据。得到一组测量结果如表 1 所示。

表 1 测量结果与标准值对比

序号	标准值	测量值	绝对误差
1	5.000	4.93	-0.07
2	10.000	9.97	-0.03
3	15.000	15.00	0.00
4	20.000	20.04	0.04
5	25.000	25.06	0.06
6	30.000	30.09	0.09

3.1 模型训练

将绝对误差根据式(13)归一化到 (0, 1) 后得到:

$$(0 \quad 0.25 \quad 0.4375 \quad 0.6875 \quad 0.8125 \quad 1)$$

初始化设置粒子群的维数为 1, 数目为 100, 最大权值为 2.5, 最小权值为 0.35, 最大速度为 1, 初始粒子位置选择 (0, 1) 内的随机数, 粒子速度为 (-0.1, 0.1) 的随机数, 叠代次数为 500。应用已有的 6 个历史误差数据。选取训练数据计算值与实际值的最小误差和作为适应度函数, 对模型进行训练。最后将模型数据反归一化得到测量程内误差的拟合曲线。

3.2 结果分析

最后本系统和基本灰色系统对 6 个取样误差点的拟合结果如表 2 所示。最终训练数据和模型拟合数据的曲线如图 2 所示。

表 2 PSO-NGM 模型对训练数据的拟合与实际值对比

取样点/V	训练值/V	GM(1,1) 拟合值/V	PSO-NGM 模型拟合值/V
5	-0.07	-0.070	-0.070
10	-0.03	0.026	-0.030
15	0.00	0.0521	-0.003
20	0.04	0.1032	0.035
25	0.06	0.2043	0.065
30	0.09	0.4046	0.088

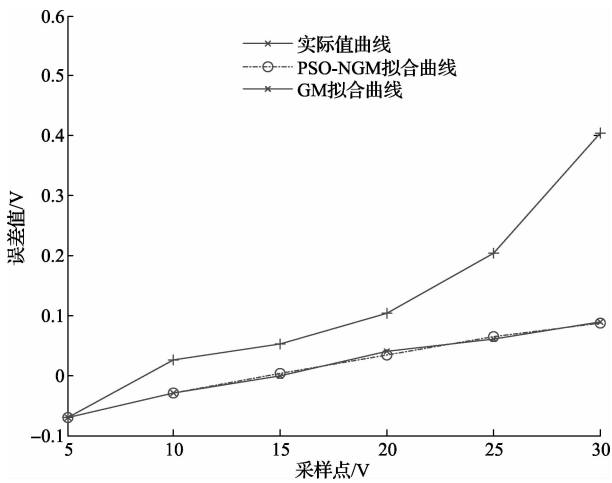


图 2 PSO-NGM 模型与 GM(1,1)模型训练结果对比

从图 2 可以看出本文提出的 PSO-NGM 系统比灰色模型更能很好的拟合仪器误差的曲线。在灰色系统不能适用的情况下本系统能够很好的拟合。

3.3 模型验证

选取仪器不是训练点的一组测试数据,分别应用 GM(1,1)模型和 PSO-NGM 模型对误差进行修正。将修正结果与标准值进行比较,得到修正后仪器对比如表 3 所示。

表 3 PSO-NGM 与 GM(1,1)模型修正数据对比

序号	标准值/V	仪器示 值/V	GM(1,1) 修正值/V	PSO-NGM 模型修正值/V
1	6.000	5.94	5.96	6.00
2	7.500	7.45	7.44	7.50
3	11.000	11.00	11.96	11.00
4	22.500	22.55	22.46	22.50

表 3 可以看出,在 GM(1,1)模型不能很好修正仪器示值的情况下,PSO-NGM 模型能够对序列进行高精度地修正,而且保留了训练数据少,预测精度高的特点。也证明了该改进模型适合仪器示值误差的修正。

4 结 论

本文基于 MATLAB 编程提出了一种粒子群非齐次灰色系统。该系统对于既含有已知信息,又含有未知信息的系统具有很好的拟合和预测效果,并且建模速度快,建模需要数据信息少。可应用于对仪器示值误差进行修正而不需改变仪器的硬件,具有广阔的应用前景和实用价值。

参考文献

- [1] YANG G, WU X. Fault prediction of ship machinery based on gray neural network model [C]//IEEE International Conference on Control and Automation, 2007. ICCA 2007. IEEE, 2007: 1063-1066.
- [2] 彭宇, 刘大同, 彭喜元. 故障预测与健康管理系统综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(1): 1-9.
- [3] 江华丽. 神经网络混合算法的应用研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(10): 59-62.
- [4] 潘亚林. 应用灰色系统模型提高仪器精度[J]. 低温与超导, 2002, 30(1): 64-67.
- [5] 何斌, 蒙清. 灰色预测模型拓广方法研究[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 9(9): 137-140.
- [6] 仇芝. 灰色组合模型研究与应用[D]. 南京:南京航空航天大学, 2006.
- [7] 唐阳山, 方媛, 白艳, 等. 基于蚁群算法的交通出行生成预测方法的研究及应用[J]. 辽宁工业大学学报: 自然科学版, 2009(2): 108-110.
- [8] 陈鹏宇, 段新胜, 项翔. 优化白化方程参数的新 NGM(1,1,k)模型及其应用[C]//第 19 届灰色系统全国会议, 中国北京, 2010: 299-304.
- [9] 何斌, 蒙清. 灰色预测模型拓广方法研究[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 9(9): 137-140.
- [10] 金翠云, 崔瑶, 王颖. 粒子群优化的 SVM 算法在气体分析中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(7): 635-638.

作者简介

贾云涛, 1986 年出生, 硕士研究生, 工程师。主要研究方向为电学仪器测试、电路设计和计量科研等。

E-mail: 549372021@qq.com