

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.05.021

一种提高 Pt1000 铂电阻测温精度的新方法*

田炳丽¹, 胡超^{2*}, 丁风雷¹

(1. 青岛海军潜艇学院 作战指挥系, 山东 青岛 266071;

2. 中国科学院国家天文台 导航通信组, 北京 100012)

摘要: 为解决铂电阻测温精度等问题,将广义延拓逼近法技术应用到提高铂电阻的测温精度中。开展了对提高测量精度的分析,在阐述广义延拓逼近法模型原理和具体算法实现过程的基础上,建立了广义延拓逼近法和测温精度的关系,提出了一种基于广义延拓逼近法来提高测温精度的新方法;在软件 Matlab 上对最小二乘法 and 广义延拓逼近法的测量温度精度校正进行了评价,同时对最小二乘法和广义延拓逼近法进行了比较仿真,得到了与之对应的温阻($T-R$)曲线、温阻($T-R$)转换精度比较曲线以及测温精度比较曲线。仿真结果表明,在同一个铂电阻、同样的硬件配置基础上,广义延拓逼近法模型的温度测量精度稍高于最小二乘模型的测温精度,特别是在边界附近,广义延拓逼近法模型的测温精度得到了大幅改善。

关键词: Pt1000; 温度测量; 精度; 广义延拓; 最小二乘法

中图分类号: TH811

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)05-0603-03

New method to improve temperature measurement accuracy of Pt1000

TIAN Bing-li¹, HU Chao², DING Feng-lei¹

(1. Department of Operations and Command Control, Navy Submarine Academy, Qingdao 266071, China

2. Navigation and Communication Group, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Science, Beijing 100012, China)

Abstract: In order to solve the problems of temperature acquisition, the generalized extended approximation was investigated. After the analysis of improving the temperature acquisition as well as the principle and the way to realize the algorithm, the relationship between generalized extended approximation and temperature acquisition was established, and a new method based on generalized extended approximation was put forward. The correction of temperature acquisition and a comparison between the least square method and generalized extended approximation was evaluated in the Matlab software. The corresponding curves of $T-R$, the precision of the $T-R$ conversion and temperature acquisition were drawn. The experimental results show that the high accuracy can be obtained by the same Pt1000 and using the proposed approach, especially the zone of border of net.

Key words: Pt1000; temperature measurement; accuracy; generalized extended approximation; least square method

0 引言

在工业生产过程中温度测量不仅是重要的物理参数,其温度的检测和控制直接和安全生产、产品质量、生产效率、节约能源等重大技术经济指标相联系,而且

海水温度也是表现海水状态的最重要的参数,它的分布和变化是直接影响各种海军装备的主要因素^[1-4]。

温度测量已经是很成熟的技术,温度敏感元件既有传统的热电阻、热电偶、热敏电阻等温度传感器,又有现代的集成温度传感器、数字温度传感器,还有超

收稿日期: 2012-11-08

基金项目: 中国科学院国家天文台青年人才基金资助项目(0835032002)

作者简介: 田炳丽(1976-),女,山东高密人,讲师,硕士,主要从事自动化控制、数字信号处理方面的研究. E-mail:ningcl@126.com

通信联系人: 胡超,男,助理研究员. E-mail:huchao@bao.ac.cn

高温度的光学温度传感器,其中热电阻,特别是 Pt1000 铂电阻的测温方法以其高精度、高灵敏度等特点在中、低温测量中占有重要的地位^[5]。

提高 Pt1000 铂电阻测温精度的方案有下面 3 种:

(1) 使用四线制接法对测量误差进行补偿。铂电阻的使用一般有 3 种接线方式:分别是二线制接法、三线制接法和四线制接法,其中二线制接法没有考虑到引线电阻,只能适用于测温距离比较近的场所;三线制接法消除了部分引线电阻^[6];四线制是指在热电阻的根部两端各连接两根导线,其中两根引线为热电阻提供恒定电流 I ,把 R 转换成电压信号 U ,再通过另外两根引线把 U 引至测量端。这种引线方式可完全消除引线的电阻影响,但成本较高,主要用于高精度的温度检测^[7]。

(2) 通过对采样信号进行滤波减少随机误差。由于外界干扰或某些不可预知的因素,模拟量在受到干扰后,经 A/D 转换后的结果偏离了真实值,可能会出现一些随机的误差,如果只采样一次,无法确定结果是否可信^[8],必须通过多次采样得到一个 A/D 转换的数据序列,通过软件算法处理后才能得到一个可信度较高的结果。这种方法就是数字滤波。滤波器是一种能使有用频率信号通过而同时抑制(或大为衰减)无用频率信号电子装置,可分为模拟滤波器和数字滤波器。模拟滤波器是采用 $R、L、C$ 等无源器件组成的滤波电路或由运放和 $R、C$ 组成的有源滤波器^[9]。而数字滤波则是采用软件算法实现滤波的。数字滤波的前提是对同一数据进行多次采样。

(3) 软件算法校正 Pt1000 的非线性度。由 Pt1000 的特性可知,虽然 Pt1000 的线性度比较好,但是由于其温度—电阻函数关系并非线性^[10],采用单片机运算方法则占用资源和时间都比较多。通常研究者采用查表和算法进行标度变换的方法计算出温度,不仅运算快、占用单片机内部资源少,而且可以在一定程度上对 Pt1000 进行线性化校正,从而达到非常精确的测温效果。

目前,常用的算法有最小二乘法等等,本研究采用广义延拓逼近新方法进行校正,期望在基本不增加单次运算量的基础上得到更好的测温效果。

1 广义延拓逼近法计算模型

延拓域及相应函数值如图 1 所示。

设 Δ_e 内的广义插值函数 $U_e(x)$ 为:

$$U_e(x) = a_1 + a_2x + a_3x^2, \quad x \in [x_1, x_2] \quad (1)$$

式中: a_1, a_2, a_3 一待定系数。

待定系数 a_1, a_2, a_3 可由下列模型确定:

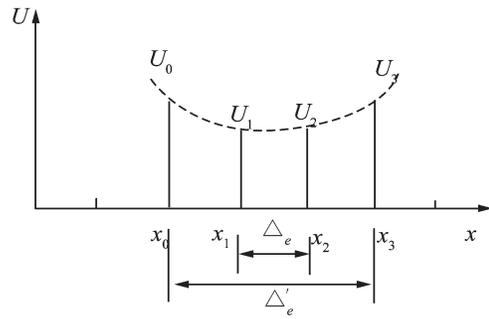


图 1 延拓域及相应函数值

注:两端延拓结点要作处理

$$\begin{cases} \min I(a_1, a_2, a_3) = \sum_{i=0}^3 [a_1 + a_2x_i + a_3(x_i)^2 - U_i]^2 \\ \text{s.t.} \begin{cases} a_1 + a_2x_1 + a_3(x_1)^2 = U_1 \\ a_1 + a_2x_2 + a_3(x_2)^2 = U_2 \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

对于内插模型而言,该模型在分段边界点上满足插值条件,使得各分段之间的变化具有一定的协调性,另一方面又利用分段插值区域周围结点(包括内点)的信息,实现分段区域内外部的最佳拟合,从而充分利用了插值法和拟合法的优点。

2 仿真结果与分析

2.1 实验样本说明

笔者以一支德国 UST 公司的 Pt1000 铂电阻做实验,并且厂家提供了分度表,根据分度表进行最小二乘法和广义延拓逼近法的仿真比较。在 Pt1000 分度表中,本研究选择 $15^\circ \sim 30^\circ$ 区间,间隔为 1° 的整数温度点和对应的电阻值作为最小二乘法和广义延拓的数据源,拟合数据源如表 1 所示。

表 1 拟合数据源

温度/ $^\circ$	电阻值	温度/ $^\circ$	电阻值
15	1 058.495	23	1 089.585
16	1 062.385	24	1 093.467
17	1 066.274	25	1 097.347
18	1 070.162	26	1 101.225
19	1 074.049	27	1 105.103
20	1 077.935	28	1 108.980
21	1 081.820	29	1 112.855
22	1 085.703	30	1 116.729

2.2 数据处理过程及结果

2.2.1 最小二乘法阻温 $R-T$ 曲线

本研究选择二次多项式作为目标函数,表达式为:

$$R_{\text{ms}} = a + bt + ct^2 \quad (3)$$

式中: R —实际测的电阻; t —温度值; a, b, c —待定系数。

由最小二乘法的原理,可得数据样本区间的拟合函数为:

$$R_{lms} = 1\,000 + 3.908\,3 \times t - 5.77 \times 10^{-4} \times t^2 \quad (4)$$

最小二乘法温阻曲线如图2(a)所示。

2.2.2 广义延拓法阻温R-T曲线

在15°~30°每一个分段间隔内,按照公式(2)得到广义延拓函数,其中分段区间位于整个定义域的最左端,需要 x_0 进行边界处理,即令 $x_0=x_1$;分段区间位于整个定义域的最右端,需要 x_3 进行边界处理,即令 $x_3=x_2$,最终得到15个区间的广义延拓函数集:

$$R_{gyt} = A + Bt + ct^2 \quad (5)$$

根据广义延拓计算模型,得到分段的广义延拓函数集中的A、B、C系数,如表2所示。

表2 广义延拓函数集A、B、C系数表

A	B	C
1 000.024 999 999 97	3.905 500 000 000 76	-5.000 000 001 018 634e-04
1 000.025 000 000 01	3.905 499 999 997 12	-4.999 999 999 313 332e-04
1 000.025 000 000 01	3.905 499 999 998 94	-4.999 999 999 313 332e-04
1 000.024 999 999 98	3.905 500 000 000 76	-5.000 000 000 450 200e-04
1 000.025 000 000 01	3.905 499 999 998 94	-4.999 999 999 881 766e-04
999.9 199 999 999 84	3.915 750 000 000 12	-7.499 999 999 822 649e-04
999.9 305 000 000 17	3.915 249 999 998 20	-7.499 999 999 822 649e-04
1 000.172 500 000 02	3.893 249 999 9973 5	-2.499 999 999 372 449e-04
1 000.023 000 000 02	3.905 499 999 998 94	-4.999 999 999 881 766e-04
999.7 470 000 000 03	3.929 000 000 000 09	-0.001 000 000 000 033
1 000.072 000 000 04	3.903 499 999 996 71	-4.999 999 999 313 332e-04
1 000.221 500 000 07	3.891 249 999 998 76	-2.499 999 999 372 449e-04
999.856 999 999 989	3.918 250 000 002 44	-7.500 000 000 391 083e-04
999.871 000 000 072	3.917 749 999 996 89	-7.499 999 999 254 214e-04
1 000.073 999 999 85	3.903 500 000 015 58	-5.000 000 001 018 634e-04

最小乘法和广义延拓的温阻曲线如图2(a)所示。

2.2.3 两种方法阻温R-T精度比较

根据Pt1000分度表,选择15°~30°之间间隔为0.1°的温度点,分别代入式(4)和式(5),并且和分度表中实际的电阻值进行比较,最小二乘法和广义延拓的温阻转换精度比较如图2(b)所示。

2.2.4 两种方法温阻T-R精度比较

根据式(4)和式(5),结合求根公式可以得出有效的阻温转换公式:

$$t_{lms} = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4a(c - R_{smp})}}{2a} \quad (6)$$

$$t_{gyt} = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A(C - R_{smp})}}{2A} \quad (7)$$

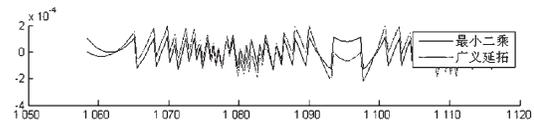
将分度表中15°~30°之间对应的电阻值代入到公式(6,7),并且和分度表中对应的温度值进行比较,最小二乘法和广义延拓的精度比较如图2(c)所示。

3 结束语

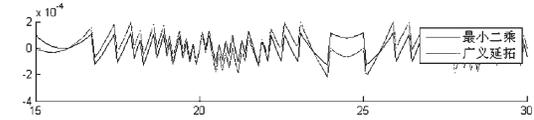
针对Pt1000铂电阻温阻函数非线性问题,本研究引入了广义延拓逼近模型来改善Pt1000的温阻非线性



(a) 最小二乘和广义延拓法的温阻曲线



(b) 最小二乘和广义延拓法的温阻转换精度比较



(c) 最小二乘和广义延拓法的精度比较

图2 最小二乘与广义延拓比较图

度,提高测温精度;并利用Matlab平台对新模型和常用的最小二乘模型进行了测温精度上的理论对比。仿真结果表明,广义延拓逼近模型和最小二乘模型在全量程范围内改善非线性度的能力相当,但在样本点附近,广义延拓逼近模型明显得到了更高的测温精度。

本研究的不足之处在于:和最小二乘法相比,广义延拓模型的系数矩阵较为复杂,实际单片机在初次求解系数矩阵时增加了数倍的计算量。在后续的实际单次测温过程中,比最小二乘法增加一次查表的运算量,因此对测温效率的影响也可忽略不计。

参考文献(References):

- [1] 龚瑞昆,李静源,张冰. 高精度铂电阻测温系统的实现[J]. 仪表技术,2008(7):9-10.
- [2] 张萱,闻建静,楼建明. 铂电阻测温非线性校正方案[J]. 南昌大学学报:工科版,2003,25(3):53-56.
- [3] 蔡彬彬,包亚萍,陶卉,等. 基于铂热电阻PT100的USB测温仪的设计[J]. 微计算机信息,2008,41(24):186-188.
- [4] 李志斌. 一种新型的热电偶、热电阻自动检定系统[J]. 微计算机信息,2007,5(1):191-192,204.
- [5] 张烂熳. 一种优化的精密温度测量方法[J]. 机电工程,2009,26(9):57-59,80.
- [6] 方益喜,雷开卓,屈健康,等. 基于PT1000的高精度温度测量系统[J]. 电子设计工程,2010,18(10):79-82.
- [7] 陈润明,秦辉,韩超. 一种高精度温度检测方案[J]. 科技传播,2011(7):222-227.
- [8] 才智,范长胜,杨冬霞. PT100铂热电阻温度测量系统的设计[J]. 现代电子技术,2008(20):172-174,177.
- [9] 赵红梅,米启超. WZP型铂电阻温度传感器Pt1000信号的线性化处理[J]. 现代电子技术,2008(5):169-170.
- [10] 钱静,翁佩德,罗家融,等. Pt100温度计电阻和温度关系的拟合[J]. 低温与超导,2007,35(4):290-292.

[编辑:李辉]