

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.03.027

## 基于曲线拟合的非标高温传感器在采集系统中的应用

钱鹏<sup>1</sup>, 沈为群<sup>1</sup>, 刘旺开<sup>2</sup>

(1. 北京航空航天大学 自动化科学与工程学院, 北京 100191;

2. 北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100191)

**摘要:** 针对在某高温环境模拟测控系统中, 因变送器不稳定而导致温度采集值波动的问题, 设计了一种直接将电势信号采集到计算机的方法。为避免因计算机反复比较、查表而浪费资源, 采用整体误差平方和多项式最小二乘法对电势与温度值间的关系进行拟合。分析结果表明, 在高温区域, 拟合精度在 $\pm 3\text{ }^\circ\text{C}$ 左右。拟合公式可直接应用于此类热电偶信号采集中, 并可依据精度要求适当调整拟合次数。

**关键词:** 曲线拟合; 最小二乘; 非标高温传感器; 数据采集

**中图分类号:** TP274; TP241.5 **文献标志码:** A

## Application of Nonstandard High Temperature Sensor in Data Acquisition Based on Curve Fitting

Qian Peng<sup>1</sup>, Shen Weiqun<sup>1</sup>, Liu Wangkai<sup>2</sup>

(1. School of Automation Science & Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. School of Aeronautic Science & Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** When applied in a high temperature environment simulation system, computer data acquisition fluctuates dramatically as the instability of the nonstandard thermocouple transmitter. A method which sending the thermocouple voltage to the computer directly is designed. Then a fitting function is acquired by curve fitting in poly-least-square, which could be used to avoid the waste of computer resource as the comparing table-searching work in program. And it could be seen that the fitting error is around  $\pm 3\text{ }^\circ\text{C}$  in the high temperature area through error analysis. The fitting formula could be used in the signal acquisition of this kind of thermocouple. And the fitting degree could be adjusted according to the measurement precision.

**Keywords:** curve fitting; least-square; nonstandard high temperature sensor; data acquisition

### 0 引言

对于较高温度的测量和采集, 一般采用标准温度传感器, 如 R 型、B 型、S 型热电偶, 目前对标准热电偶电势信号变送的模块也比较成熟。但是标准高温传感器在量程上限 ( $1\ 700\text{ }^\circ\text{C}$ ) 附近仅能承受十几分钟甚至几分钟的时间。某环境模拟系统需要模拟  $1\ 800\text{ }^\circ\text{C}$  的高温环境, 并且要求有一定的维持时间。非标高温传感器 E1751 型热电偶的测温范围为  $0\sim 1\ 880\text{ }^\circ\text{C}$ , 能够满足高温环境模拟系统较长时间工作的要求<sup>[1]</sup>, 可采用该传感器进行高温信号的采集测量。

在高温环境模拟系统试验过程中, 由于温度变送器多次出现不稳定, 导致采集的温度信号大范围波动。笔者设计了一种避开温度变送器的采集方法, 并采用多项式最小二乘拟合的方法进行设计。

### 1 采集方法设计

热电偶的计算机采集, 通常是将热电偶的热电势信号经变送器变送为  $4\sim 20\text{ mA}$  或  $1\sim 5\text{ V}$  的标准

信号, 经过 A/D 转换, 传输到计算机进行显示、打印、保存等后续处理。

温度采集值波动情况如图 1, 分析图 1 可以看出, 若单纯用数字滤波的方法并不能从根本上解决温度采集值波动的问题, 故将高温热电偶的电势信号通过带串行总线接口的精密数字毫伏表测量出来, 送计算机, 再依据此型号传感器的分度表, 把测量得到的毫伏信号对应到相应的温度值上。

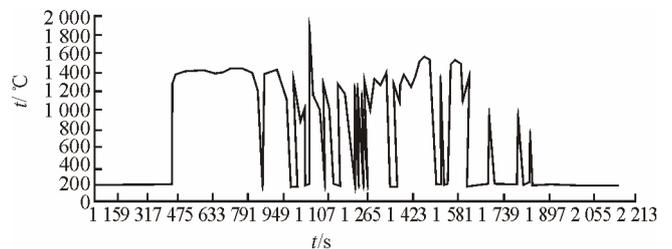


图 1 温度采集值波动图

计算机得到热电偶的电势信号后, 可以查表得到相应的温度值。但由于分度表中的数据相对较多, 仅  $0\sim 1\ 880\text{ }^\circ\text{C}$  及其电势信号所占的存储空间大约有  $20\text{ KB}$ 。普通查找法的算法时间复杂度为

收稿日期: 2010-10-05; 修回日期: 2010-11-30

作者简介: 钱鹏 (1985—), 男, 河北人, 硕士研究生, 从事计算机过程控制和风洞控制方向研究。

$O(n)=O(1880)$ ，考虑到电势信号和温度值对应关系的单调有序性，可采用二分查找等优化算法，其时间复杂度为  $O(\log_2 n)\approx O(11)$ 。

为避免因计算机反复比较、查表而浪费资源，采用曲线拟合的方法，依据分度表数据，拟合得到一个热电偶电势信号  $x$  mV 与温度值  $y$  °C 之间的公式。这样，在计算机数据采集，将得到的电势信号代入到拟合公式中，可直接得到相应的温度值，节约了计算机资源。如图 2。

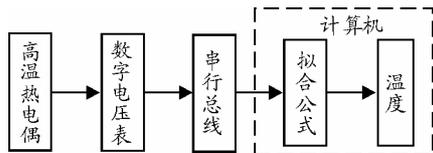


图 2 改进的高温热电偶计算机采集原理图

## 2 非标高温传感器的曲线拟合

### 2.1 拟合方法选择

插值法是在复杂函数  $y=f(x)$  上已知  $n$  个坐标点  $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$  来寻找一个简单函数  $y=p(x)$ ，作为实际关系  $y=f(x)$  的近似，并且使

$$p(x_i) = y_i \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

成立，则  $p(x)$  为  $f(x)$  的插值函数<sup>[2]</sup>。由以上问题描述，在  $0\sim 1880$  °C 上按照每  $10$  °C 一个插值点，若采用多项式插值，则插值函数  $p(x)$  的次数太高，若采用分段插值，并不能完全不查表。

由于插值法得到的多项式是在局部上逼近被插值函数，为了确定一个简单函数  $y=\varphi(x)$ ，使之从整体上逼近所给函数关系  $y=f(x)$ ，而并不关心拟合曲线是否经过所有给定的拟合数据点，只需要拟合误差尽可能小即可，因此，选择曲线拟合的方法。曲线拟合多应用于由给定实验数据来确定自变量和因变量之间的函数关系。笔者选取分度表中有代表性的数据点，在允许有拟合误差的条件下，采用整体误差平方和最小的最小二乘法对热电势与温度值之间的关系进行拟合也是可行的。

### 2.2 多项式最小二乘法拟合

热电偶的电势信号和温度值之间是非线性关系，这里采用多项式最小二乘拟合。设拟合函数为

$$y = \varphi(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^m \quad (m < n) \quad (2)$$

由于拟合曲线并不一定严格通过所有数据点  $(x_i, y_i)$ ，因此拟合函数在  $x_i$  处的残差

$$\delta_i = \varphi(x_i) - y_i, i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

不全为 0。根据最小二乘法偏差平方和最小的原则，可得到拟合函数的约束条件为  $J$  取最小。其中

$$J = \sum_{i=0}^n \delta_i^2 = \sum_{i=0}^n [\varphi(x_i) - y_i]^2 = \sum_{i=0}^n (\sum_{j=0}^m a_j x_i^j - y_i)^2 \quad (4)$$

由此求出拟合函数的系数  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ ，即可得拟合多项式。

参照 E1751 型热电偶的分度表，在  $0\sim 1880$  °C 上每隔  $10$  °C 取 1 个数据点  $(x_i, y_i)$ ，其中， $y_i$  为第  $i$  个数据点的温度值， $x_i$  为相应的毫伏电压值，如表 1。

表 1 由分度表所选数据点

$x/\text{mV}$	0	0.004	0.007	...	4.899	4.993
$y/^\circ\text{C}$	0	10	20	...	1870	1880

将数据点在 Matlab 上通过编程进行多项式最小二乘拟合<sup>[3]</sup>。在程序设计中发现，拟合次数越高则拟合曲线的精度就越高，实际应用中可综合精度要求和其它因素来选择拟合次数。这里给出  $m=9$  时的拟合多项式拟合函数：

$$y = \varphi(x) = 12.2619 + 2277.2272x - 3838.057x^2 + 4663.88x^3 - 3509.9277x^4 + 1645.977x^5 - 480.877x^6 + 84.9302x^7 - 8.2873x^8 + 0.3427x^9 \quad (5)$$

拟合曲线如图 3。

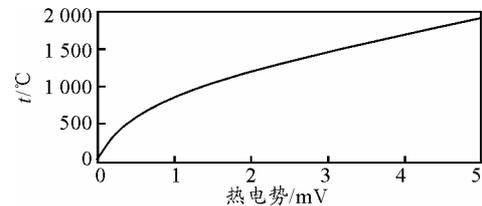


图 3 E1751 型热电偶电势-温度拟合曲线图

### 2.3 拟合误差分析

由式 (5) 得到的拟合温度值与真实温度值之间的误差，如图 4。

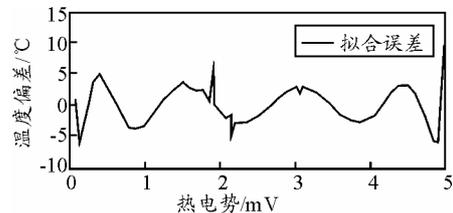


图 4 拟合误差图

最大绝对误差为热电势  $x=0$  mV 时， $\Delta y_{\max} = \varphi(x) - f(x) = 12.2619$  °C，故拟合曲线的最大相对百分误差<sup>[4]</sup>为： $\frac{\Delta y_{\max}}{\text{量程上限} - \text{量程下限}} \times 100\% = 0.652\%$ 。

通过分析拟合误差曲线可以看出，在较为关心的高温区域，即  $x$  取值大约在  $[2.5, 4.5]$  时，误差为  $\pm 1\sim 3$  °C，可以满足高温环境模拟系统数据采集的

精度要求。

### 3 结论

该方法直接将热电势信号采集到计算机, 并且通过多项式最小二乘法对分度表中选取的一个有代表性的数据点集合进行曲线拟合, 得到了一个拟合误差较小的拟合函数, 避免了因测控系统反复查分度表而浪费计算机资源。在工程应用中, 可以根据精度要求适当调整拟合次数, 有一定的实用价值。

\*\*\*\*\*

(上接第72页)

当电池电压下降时, 增加占空比, 当电池电压升高时, 减小占空比, 通过占空比的调整来保证电压值与占空比的乘积不变, 详见图 2(b)和图 2(c)。根据面积等效原则<sup>[5-6]</sup>得到周期平均电压不变, 使小车电机转速恒定, 从而保证小车的速度稳定。具体修正办法为:

1) 对电池电压检测并转化成数字信号, 再用标度变换得到对应的电压值, 见式 (1)。

$$V_x = V_0 + (V_{max} - V_0) \frac{N_x - N_0}{N_{max} - N_0} \quad (1)$$

式 (1) 中,  $V_x$  为实时检测的电压值;  $V_0$  为输入电压的最小值;  $V_{max}$  为输入电压的最大值;  $N_x$  为

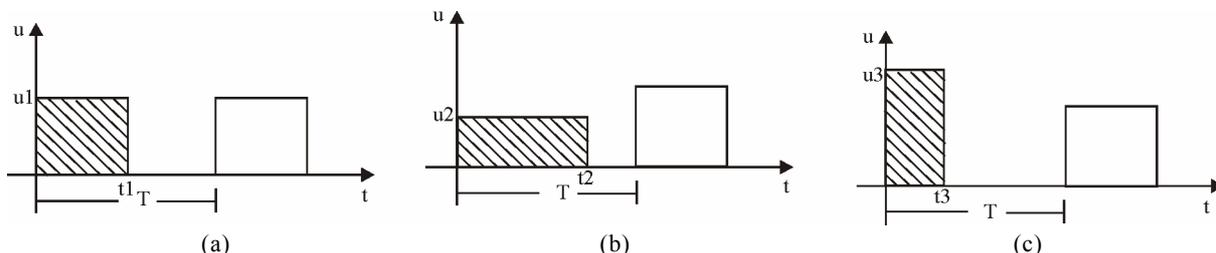


图2 面积等效示意图

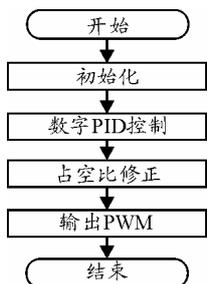


图3 修正软件流程图

#### 1.3 改进前后的性能比较

大量的实验结果表明: 针对同样的期望值, 改进前当电池充电足时, 平均速度约 2.2 m/s, 但易冲出跑道, 很不稳定, 当电池耗电多时, 平均速度约 1.267 m/s, 太慢; 改进后平均速度约 1.927 m/s, 速度较快且很稳定。从数据和实际效果看, 改进后的速度更快, 更平稳。

### 参考文献:

- [1] 王浚, 黄本诚, 万大才, 等. 环境模拟技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- [2] 易大义, 沈云宝, 李有法. 计算方法[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2006.
- [3] 陈光, 任志良, 孙海柱. 最小二乘曲线拟合及 Matlab 实现[J]. 兵工自动化, 2005, 24(3): 107-108.
- [4] 杜维, 张宏建, 乐嘉华. 过程检测技术及仪表[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.

AD 实时转化的数字值;  $N_{max}$  为 AD 转化的最大值,  $N_0$  为 AD 转化的最小值。

2) 根据实际的电压情况, 设置 AD 字长为 8 位, 则可得实时电压, 计算公式为:

$$V_x = 3.5 + (4.5 - 3.5) \frac{N_x - 00H}{FFH - 00H} \quad (2)$$

3) 选取电池 8.0 V 为中间值, 除以 2 为 4.0 V, 设定修正前的期望占空比为  $T_0$ , 即修正前期望速度对应的理想占空比, 则占空比修正计算公式为:

$$T = \frac{4.0}{V_x} T_0 \quad (3)$$

式 (3) 中,  $T$  为修正后的占空比。

根据以上的几个算法可以编写相关程序, 见图 3。

### 2 结论

实验结果证明, 该方法既减小了电压变化对速度的影响, 提高了比赛速度, 又保证智能车不冲出跑道, 提高了比赛成绩。

### 参考文献:

- [1] 吴怀宇, 程磊, 章政. 学做智能车[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [2] 黄加勇, 陈华伟, 魏翼鹰. 技术报告[R]. 天津工业大学, 2007.
- [3] 徐清. 自动导引小车系统的设计与实现[D]. 苏州大学, 2006.
- [4] 陈伯时. 电力拖动自控系统—运动控制系统[M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2007: 7.
- [5] 张允, 邹云屏, 丁凯. 面积等效原理的新型多电平变频器控制算法[J]. 电气传动, 2005, 35(1): 19-22.
- [6] 刘小河, 臧健. 基于 DSP 的 SPWM 直接面积等效算法的分析与实现[J]. 现代电子技术, 2003, 146(3): 53-55.