

应用 Matlab 拟合传感器特性曲线

陈 敏

(南京师范大学控制科学与工程系, 210042, 南京)

[摘要] 为了满足智能仪表开发的需求, 同时减轻开发人员的繁重工作, 提出了利用 Matlab 拟合传感器特性曲线的方法, 用该方法可迅速方便地建立传感器的数学模型. 通过应用实例详细说明了建立传感器数学模型的步骤. 得出了数学模型准确可用, 利用 Matlab 拟合传感器特性曲线具有相当的实用价值的结论.

[关键词] 传感器, 特性曲线, 拟合, Matlab

[中图分类号] TP212, [文献标识码] B, [文章编号] 1672-1292-(2003)01-0045-05

0 引言

温度测量被广泛地应用于各个行业, 随着电子技术的发展, 越来越多的温度测量仪表采用了单片机技术. 这样不仅提高了精度, 还可灵活配置热电偶或热电阻传感器, 且便于连接以太网等特点.

温度测量的传感器目前应用最广泛的还是热电偶和热电阻. 在将传感器的 $mv(\Omega)$ 信号转换成温度值时, 一般有两种方法可供选择: 一是查表法, 即预先将 $mv(\Omega) - T$ 转换表按一定数据结构存储在 EPROM 中, 然后根据测得的 $mv(\Omega)$ 值查表求得对应的温度值 T . 这种方法在仪表运行过程中可达到速度快, 精度高的目的, 但缺点也很明显, 即需预先输入 $mv(\Omega) - T$ 对照表, 特别是在可由用户任意定义温度传感器分度号时, 更需输入大量数据, 而人工输入如此大量的数据工作量非常繁重, 并极可能出错. 另一种方法是公式法, 即建立温度传感器 $mv(\Omega) - T$ 特性曲线的数学模型, 然后在测量过程中由 $mv(\Omega)$ 值计算求得对应的温度值 T . 这种方法速度较慢, 精度稍差, 但无需预先输入 $mv(\Omega) - T$ 对照表. 考虑到温度测量的特点, 在一般情况下, 速度要求不是很高, 可以满足需求, 在测量精度方面, 只要拟合得当, 拟合曲线所带来的误差应远小于温度传感器自身的误差. 而免去输入大量 $mv(\Omega) - T$ 对照表之苦, 则可使仪表开发人员更致力于在其它方面的精益求精.

1 数学原理

曲线拟合问题是指: 已知 $n+1$ 个点 (x_i, y_i) , $i = 0, 1, 2, \dots, n$. 其中 x_i 互不相同, 寻求函数 $f(x)$, $f(x)$ 与所有数据点最为接近, 也可称为数据的平滑问题.

线性最小二乘法是解决曲线拟合最常用的方法. 其基本思路是:

$$f(x) = a_0 k_0(x) + a_1 k_1(x) + \dots + a_m k_m(x).$$

其中 $k_i(x)$ 是事先选定的一组函数, a_i 是待定系数, ($i = 0, 1, 2, 3, \dots, m, m < n$).

寻求 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$, 使得: $\sum_{i=0}^n (f(x_i) - y_i)^2$ 最小, 即称为最小二乘准则.

特别是若令 $f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_m x^m$ 则线性最小二乘拟合称为多项式拟合.

曲线拟合在有些场合下也可使用解线性方程组法, 若令

$$f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_m x^m$$

收稿日期: 2003-02-15.

作者简介: 陈敏, 1962-, 南京师范大学控制科学与工程系, 主要从事智能仪表与计算机控制的研究.

已知数据 $(x_i, y_i) (i = 0, 1, 2, \dots, n, n = m)$, 将 (x_i, y_i) 依次代入上述多项式得如下线性方程组:

$$\sum_{k=0}^m a_k x_i^k = y_i \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n).$$

a_k 为变量. 上述方程组也可由以下矩阵形式表示:

$$\begin{bmatrix} 1 & x_0 & \dots & x_0^m \\ 1 & x_1 & \dots & x_1^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & \dots & x_n^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

可记作: $RA = Y$

求解以上线性方程组可得 a_k 值.

2 MATLAB 的应用

MATLAB 是一款科学与工程计算软件, 集成了计算、可视化和程序编制等功能, 它使用方便、简单易学、功能强大. 其典型应用包括: 数学计算、算法开发、建模、仿真及演算, 数据分析和可视化, 科学与工程绘图, 应用开发. 本文所涉及的仅仅是 MATLAB 数学计算及建模功能.

MATLAB 强大的数学功能使得我们解决曲线拟合问题变得轻而易举. 下面将分别介绍应用 MATLAB 利用线性方程组法和线性最小二乘法解决曲线拟合问题.

以 PT100 热电阻 $0^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 为例,

已知每间隔 10°C 其阻值分别为:

100, 103.90, 107.79, 111.67, 115.54, 119.40, 123.24, 127.08, 130.90, 134.71, 138.51.

2.1 线性方程组法

输入以下命令:

```
y = 0: 50: 100;
x = [100, 119.40, 138.51];
r = [(x.^2) x' ones(3,1)];
format long
A = r \ y'
```

得结果:

```
A =
1.0e+ 002 *
0.00001015621922
0.02354492137858
- 2.45605433009656
```

2.2 线性最小二乘法

输入以下命令:

```
y = 0: 10: 100;
x = [100, 103.90, 107.79, 111.67, 115.54, 119.40, 123.24, 127.08, 130.90, 134.71, 138.51];
A = polyfit(X, Y, 2)
```

得结果:

```
A =
```

```
1.0e+ 002 *  
Columns 1 through 2  
0.00000999722342 0.02358019489383  
Column 3  
- 2.45792411432739
```

以上 A 的排列顺序均为 a_2, a_1, a_0 .

代入上述方程可得:

$$y = a_2 x^2 + a_1 x + a_0$$

其中 x 为电阻值; y 为计算所得温度值. 表 1 列出了

由上述两种方法拟合所得特性曲线计算的温度值.

在进行曲线拟合时, 若传感器测量范围较宽, 则应注意采用分段拟合的方法, 以确保传感器的测量精度. 下面将以 K 型热电偶为例介绍实际应用.

3 应用实例

现欲拟合 K 型热电偶 0~ 1000℃ 范围内的特性曲线. 由于热电偶测量范围较宽, 采用一段拟合将带来较大误差, 因此须采用分段拟合的方法拟合特性曲线. 从整个热电偶测量范围的计算精度考虑分为 6 段(如表 2), 并且特性曲线多项式阶次定为 3 阶.

表 1 Pt100 拟合数据

温度(℃)	电阻值(Ω)	算法 1(℃)	算法 2(℃)
0	100.00	0.00	0.01
10	103.90	9.99	10.00
20	107.79	19.99	19.99
30	111.67	29.99	29.99
40	115.54	39.99	40.00
50	119.40	50.00	50.01
60	123.24	59.99	59.99
70	127.08	70.01	70.01
80	130.90	80.00	80.00
90	134.71	90.00	90.00
100	138.51	100.00	100.00

3.1 线性方程组法

输入以下命令:

```
y= 0: 50: 150;  
x= [ 0, 2.023, 4.096, 6.138];  
r= [(x.^3)' (x.^2)' x' ones(4,1)]
```

format long

```
A= r \ y'
```

得结果:

```
A=  
0.03820850333913  
- 0.37933867149090  
25.32680138486946  
0
```

3.2 线性最小二乘法

输入以下命令:

```
y= 0: 30: 150;  
x= [ 0, 1.203, 2.436, 3.682, 4.92, 6.138]  
A= polyfit(x, y, 3)
```

得结果:

```
A=  
  
Columns 1 through 2
```

0.03827305801085
- 0.37964747377703
Columns 3 through 4
25.32658777625089
0.00430854383241

以上 A 的排列顺序均为 a_3, a_2, a_1, a_0 . 其中 $a_1 \sim a_3$ 取至小数点后 8 位, a_0 取至小数点后 4 位.

代入 $y = a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0$,

其中: y 为温度值; x 为 mv 值.

其余各段方法同上, 可得拟合系数表(如表 2).

将 K 型热电偶 0~ 1000℃ 范围的分度表按每 10℃ 取一次数填入 excel 表格, 利用 excel 的公式计算功能计算出对应特性曲线计算值, 并算出误差, 再利用 excel 的图表功能画出误差图如图 1 所示.

由图 1 整个范围误差均在 0.1℃ 以内, 考虑到单片机浮点数计算的误差, 整个计算误差可能会稍高于 0.1℃, 这个精度在绝大多数情况下已足够了.

在速度方面, 由于特性曲线多项式阶次定为 3 阶, 虽比查表法稍慢, 但也足以应付大部分需求. 因此, 该数学模型是精确可用的.

表 2 拟合系数表

		0~ 150℃	150~ 300℃	300~ 600℃	600~ 800℃	800~ 1000℃
线性方程法	a_3	0.03820850	- 0.01238637	0.00238129	0.00143703	0.00060251
	a_2	- 0.37933867	0.25623445	- 0.15660433	- 0.07220655	0.01109783
	a_1	25.32680138	23.24767916	26.88566538	24.42251584	21.64837177
	a_0	0	0.5164	- 9.2373	14.3454	45.1643
最小二乘法	a_3	0.03827306	- 0.01296631	0.00240346	0.00153954	0.00075907
	a_2	- 0.37964747	0.27281864	- 0.15779933	- 0.08136779	- 0.00590756
	a_1	25.32658778	23.09514366	26.90615863	24.69347993	22.26105191
	a_0	0.0043	0.9490	- 9.3501	11.6965	37.8379

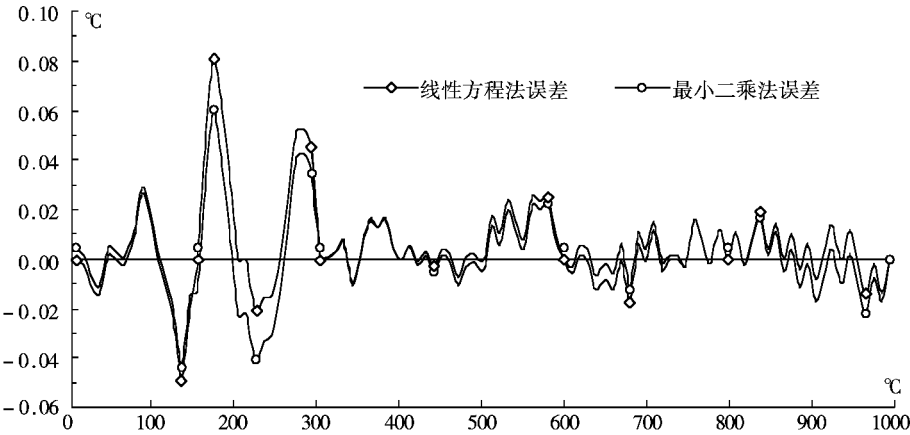


图 1 拟合误差

4 总结

利用 Matlab 来拟合温度传感器特性曲线非常方便快捷. 同时, 此方法也适用于其它非线性传感器特性曲线的拟合. 在单片机技术越来越多的应用于测量仪表领域的今天, 利用 Matlab 来拟合传感器特性曲线具有相当的实用价值.

[参考文献]

- [1] 马兴义, 杨立群, 林敏. Matlab 6 应用开发指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [2] 赵静, 但琦. 数学建模与数学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [3] 杜维, 张宏建, 乐驾华. 过程检测技术及仪表[M]. 北京: 北京化学工业出版社, 1999.
- [4] 刘钦圣. 最小二乘问题计算方法[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1989.

Application of Matlab to Fitting Sensor Characteristic Curves

Chen Min

(Department of Control Science and Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

Abstract: To meet the requirements in designing intelligent instruments and lightening the burden of heavy work, this paper introduces the application of Matlab to fitting the sensor characteristic curves. A mathematical model of the sensor is designed by applying Matlab, with the steps of the model design introduced by providing an example.

Key words: sensor, characteristic curve, fitting, Matlab

[责任编辑: 刘健]

(上接第 44 页)

[参考文献]

- [1] 左健民. 液压与气压传动(第二版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [2] 夏立中. 非对称渐开线多齿轮泵的理论分析[J]. 东北煤炭技术, 1997, (1): 22~ 26.
- [3] 侯波, 付阳金, 栾振辉. 复合外齿轮泵的结构原理及性能分析[J]. 液压与气压, 2002, (6): 41~ 42.
- [4] 张军, 栾振辉. 新型多齿轮泵的理论研究[J]. 矿山机械, 1998, (5): 68~ 71.
- [5] 唐向阳, 郑华文, 刘剑雄, 等. 纯水液压齿轮泵的结构问题研究[J]. 液压与气压, 2002, (9): 1~ 3.

Study on Structure and Characteristics of Gear Pumps

Xu Qin

(Department of Control Science and Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

Abstract: The working principle and main characteristics of a new kind of gear pumps are studied in this paper. Its application prospects have been evaluated.

Key words: gear pump, hydraulic pressure, flow pulsation

[责任编辑: 刘健]