一种非线性函数线性化的处理方法

郭光真
(厦门大学机电工程系 福建厦门 361005)

摘 要:直线方程校正是常见的非线性函数的线性化处理方法。本文改进这一方法,在一定误差允许范围内,简化了数据处理。具体应用于指数函数的线性化数据处理。

关键词:直线方程校正法 数据处理 氧化锆氧传感器
中图分类号:G642 **文献标识码**:A **文章编号**:1672-3791(2009)06(a)-0233-01

传感器是自动检测仪表的重要部分。传感器将非电量变换为电量,其变换特性往往是非线性的。如温度传感器铂热电阻的电阻值与温度之间为二次函数关系;又如氧化锆氧传感器的氧电势与氧浓度之间为指数函数关系,非线性度非常大。

解决非线性特性的方法有硬件电路校正和软件数据处理。现在自动检测仪表大都由单片机控制,采用软件处理非线性,方法有:(1)根据函数关系式计算;(2)列出在测量范围内所有取值,用查表法求取;(3)直线方程校正法,本文讨论这一方法。

1 拟合原理与步骤

分段折线拟合是在允许误差范围内,在函数曲线上取若干点,连成几段直线段即折线,来近似代替曲线。如果直线位于曲线上方,则除了端点外,精确值总是小于近似值,误差为负值;反之,如果直线位于曲线下方,精确值总是大于近似值,误差为正值。如图1所示,以直线l1近似拟合曲线,误差为负值。在A点处误差最大,记为ε_m,其余各点误差均小于ε_m。如果将l1向下平移$\varepsilon_m/2$,至l2处,以l2来拟合曲线,则最大误差减少到一半,误差有正有负。显然,在相同的误差范围内,这样的方法来拟合整条曲线分段数较少,有利于简化数据处理。求解l_2较为不便,可以先求出l_1的方程y=kx+d,然后向上(直线位于曲线下方)或向下(直线位于曲线上方)平移$\varepsilon_m/2$,

即以$d'=d\pm\varepsilon_m/2$代替d,下面以指数曲线为例来说明。氧化锆氧传感器在7200C温度下,氧浓度y(%)与其产生的氧电势x(mV)之间成指数关系:

$y=20.95\times10^{-x/49.25}$,或:$x=-49.25\lg(y/20.95)$

量程为0~10%。因$y\to0$时,x将非常大且不准确,实际测量下限取0.1%。y~x对照见表1。

用黄金分割法求解拟合直线方程。参见图2,从测量上限y1开始。

x的取值上下限之差为l。第1黄金分割点为$x_2=x_1+0.618l$,第2黄金分

割点为$x_2=x_1+0.618^2l$……,第i黄金分割点为$x_2=x_1+0.618^il$。直线方程l_1为:

$y_l=k(x+x_1)+y_1$ 斜率为:

$$k=\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}=\frac{y_2-y_1}{0.618l}$$

第i黄金分割点拟合的直线方程为:$y_l=k_i(x-x_1)+y_1$……(1)

斜率为:$k_i=\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}=\frac{y_2-y_1}{0.618^il}$……(2)

为表达简洁起见,设曲线方程为:$y=a10^{cx}$。直线与曲线的误差为:

$\varepsilon=y_l-y=k_i(x-x_1)+y_1-a10^{cx}$……(3)

最大误差在$\frac{d\varepsilon}{dx}=0$处,即:

$\frac{d\varepsilon}{dx}=k_i-ac10^{cx}\ln10=0$,得:

$$x=\frac{1}{c}\lg\frac{k_i}{ac\ln10}\text{……(4)}$$

(4)代入(3)得:

$$\begin{aligned}\varepsilon&=k_i(x-x_1)+y_1-a\frac{k_i}{ac\ln10}\\&=k_i(x-x_1)+y_1-\frac{k_i}{c\ln10}\end{aligned}\text{……(5)}$$

以下来求第1段拟合方程。取最大误差0.05,即0.05%氧浓度,则$\varepsilon_m=0.1$(见图1)。由于曲线非现线程度大,第1段拟合方程的i值不妨取大些试之,设$i=4$,代入(2):

$$k_4=\frac{y_2-y_1}{0.618^4l}=\frac{a10^{c(x_1+0.618^{4i}l)}-a10^{cx_1}}{0.618^4(114.3183-15.8183)}=0.32975$$

,将此值代入(4)得:

$$x=\frac{1}{49.25}\lg\frac{-0.32975\times(-49.25)}{20.95\ln10}=23.28583,$$

代入(5)求最大误差:

$$\varepsilon_m=-0.32975(23.28583-15.8183)+10-\frac{-0.32975(-49.25)}{\ln10}=0.4844$$

,大于设定值。

于是取i=5,重复上述过程,得最大误差$\varepsilon_m=0.175$。再设i=6,得$\varepsilon_m=0.0725$,已符合要求,$k_6=-0.4124$。这样,第1段方程为:

$y_l=-0.4124(x-15.8183)+10=-0.4124x+16.5230$

再向下平移$\varepsilon_m/2$,得:

$$\begin{aligned}y_l&=-0.4124x+16.5230-0.0725/2\\&=-0.3124x+16.4868\end{aligned}$$

接着拟合第2段,起点为:x2=x1+0.6196l=15.8183+0.6186×98.5=21.3057

$y_2=20.95\times10^{-x_2/49.25}=7.7371$

依上述方法,解得:$k_6=-0.32124$,$\varepsilon_m=0.05034$。拟合方程为:

yl=-0.32124(x-21.3057)+7.7371=-0.32124x+14.58134

平移$\varepsilon_m/2$,得:yl=-0.32124x+14.5562其余类推。

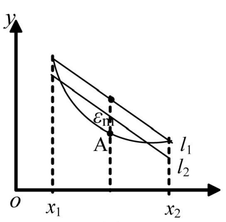

图 1

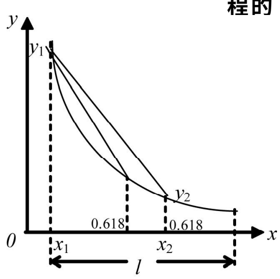

图 2

表1

氧浓度y(%)	氧电势x(mV)	氧浓度y(%)	氧电势x(mV)
0.1	114.3183	6	26.7443
1	65.0683	7	23.4472
2	50.2426	8	20.5911
3	41.5700	9	18.0719
4	35.4168	10	15.8183
5	30.6440		

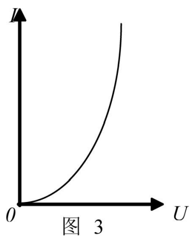

图 3

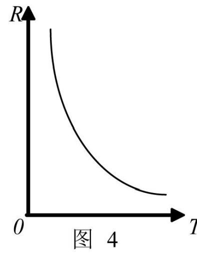

图 4

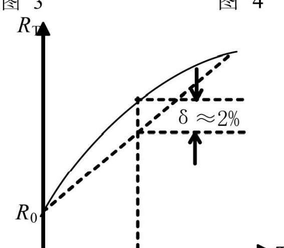

图 5

2 推广应用

以上提出的非线性函数的分段折线拟合处理方法,简化了数据处理工作量,在氧化锆氧传感器的氧浓度与氧电势之间转换得到应用。这一方法可以推广。传感器的非线性类型分为指数型和有理函数型,前者除上述氧化锆氧传感器外,还有半导体PN结伏安特性(图3)、热敏电阻的温度—阻值特性(图4),可参考上述方法进行线性化处理。后者如铂热电阻,在0~500OC范围内,温度为T的电阻值为:$RT=R0(1+aT+bT^2)$

式中:R_0为0℃时的电阻值;a、b为常数,在0~500OC范围内a =3.9752×10^{-3}/℃,b=-5.8880×10^{-7}/℃。图5为铂热电阻温度特性,其非线性程度小于指数型,线性化处理的分段数少于指数型,且较易设计。由图可见,以一直线近似,误差达2%,若以上述方法处理,误差降至1%;若分为两段误差可降至0.5%以下。

参考文献

[1] 季建华,都志杰,吴勤勤.智能仪表原理、设计及调试-8位、16位单片机应用技术[M].上海:华东理工大学出版社,1997.
[2] 吕俊芳.传感器接口与检测仪器电路[M].北京航空航天大学出版社,1993.