

一种改进的多传感器信息融合算法

夏菽兰¹, 赵 力²

(1 盐城工学院 信息工程学院, 江苏 盐城 224051; 2 东南大学 信息科学与工程学院, 江苏 南京 210096)

摘 要: 分析了压力检测技术中的信息融合任务需求, 并在研究和比较常用的曲线曲面拟合算法和插值算法的基础上, 提出了一种结合二次多项式拟合和三次样条插值的多传感器信息融合算法, 算法实验结果表明在消除温度影响方面效果显著。

关键词: 压力检测; 多项式拟合; 信息融合; 样条插值

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)03-0138-04

An Improved Algorithm of Multi-sensor Information Fusion

XIA Shu-lan¹, ZHAO Li²

(1 School of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China;

2 College of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The tasks and requirements of information fusion in pressure detecting field are analyzed. Based on the research of curve surface fitting method and interpolation algorithm, an information fusion algorithm which combined secondary polynomial fitting with 3-spline interpolation is put forward. The effect of this new algorithm is remarkable in eliminating temperature influence.

Key words: pressure detecting ; polynomial fitting; information fusion; spline interpolation

1 引言

多传感器信息融合算法在压力检测技术中占有举足轻重的地位。算法性能的好坏, 直接影响传感器测量的精度、灵敏度及线性度等指标, 为此必须采用有效的传感器信息融合算法, 减少温度等干扰因素带来的误差以提高压力检测的准确性。本文在分析常用的曲线曲面拟合算法和插值算法^[1]的基础上, 提出了一种结合二次多项式拟合和三次样条插值的传感器信息融合算法, 该算法在消除温度影响方面效果显著。

2 信息融合任务分析

压力检测系统的基本工作原理是: 当被测压力作用于压力传感器时, 传感器产生相应的电压输出, 压力检测仪测量出该电压值, 并将其映射到某一压

力值显示出来。如果检测到的电压和被测压力有较好的线性, 则算法实现非常简单, 只需要进行线性拟合即可。但是, 一方面由于系统前端的传感器、调理电路以及 A/D 都存在一定的非线性误差, 压力检测系统的线性度会大大降低。另一方面, 由于压力传感器存在对温度等参量的交叉灵敏度, 当压力恒定而温度发生变化时, 输出的电信号也会发生变化, 导致测量精度的降低。本文信息融合算法的主要任务是减小温度的影响并提高系统的线性度。

已知被测压力为 P , 压力传感器输出的电压为 U , 温度传感器测得的温度为 T 。由于压力传感器存在对温度信息的交叉灵敏度, 压力参量 P 用 U 及 T 的二元函数来表示才比较完备, 即: $P = f(U, T)$ 。信息融合算法的任务就是找到一个合适的函数 f , 使检测到的压力值 P 相对于真实压力值的误差最小。找出函数 f 的方法有很多, 最常见的是曲面拟合算

法^[2],即用二维回归方程来描述.

采用二次曲面拟合算法融合压力传感器和温度传感器的算法原理相对简单,建立的数学模型也容易理解,但该算法实现较为复杂.本文提出了一种结合曲线拟合和三次样条插值的信息融合算法,该算法是曲面拟合算法的改进,是将三维曲面进行二次分割,分别在 $P-U$ 平面和 $P-T$ 平面进行算法研究,并将两者很好地结合起来.

3 算法原理

多项式拟合^[3]是曲线拟合诸多方法中最为合适的拟合方法,该方法运算较为简便,具有较好的拟合效果.样条插值是在每个相邻节点的小区间构造出一个样条函数,在节点处需要有连续的二阶导数以保证节点处的连续,它属于一种改进的分段插值类型.三次样条插值函数的定义与获得可见文献^[4].

设计采用的霍尼韦尔传感器具有较好的线性特性,结合曲线拟合及三次样条插值的算法将有效利用这一特性,提高信息融合的效果.算法的基本思想是对压力传感器输出的电压值 U 和温度传感器测量值 T 对压力显示值 P 的影响分开来研究.首先,固定工作温度 T 不变,研究 P 和 U 的关系,这里涉及到的参量只有两个,可以选择曲线拟合方法实现;其次,将实测电压值代入上述曲线得出标准温度下的压力值,对这些压力值和标准温度进行三次样条插值,即可求得经过融合以后的压力值.

4 算法实现

根据上述算法原理可知,算法实现的基础是压力传感器原始标定数据的获取.因此,通过标定实验获取二维标定数据非常重要,这里将对压力 P 进行关于电压 U 和温度 T 的二维标定.

4.1 实验标定

压力传感器一般是在 n 个标定温度 t , m 个标定压力 p 下进行标定^[5-6],得到 $n \times m$ 组标定数据.设定标定电压和标定温度的值如下所示. $p: p_1, p_2, \dots, p_m$; $t: t_1, t_2, \dots, t_n$.对应于上述各个标定点的标准输入值,得到电压输出值 u_{ij} ,这样就可以得到原始数据标定结果.

4.2 具体算法步骤

给出结合曲线拟合和三次样条插值的信息融合算法具体步骤,如下所示.

(1) 固定温度 t_1 不变,对数据点 $(u_{11}, p_1), (u_{21},$

$p_2), \dots, (u_{m1}, p_m)$ 进行多项式拟合.得到温度 t_1 条件下 p 和 u 关系曲线: $p = f_1(u)$.其中,拟合多项式次数的选择由实测数据而定.一般情况下采用二次多项式拟合,性能好的传感器选择线性拟合即可.

同理,固定温度 t_2 不变,对数据点 $(u_{12}, p_1), (u_{22}, p_2), \dots, (u_{m2}, p_m)$ 进行多项式拟合.得到温度 t_2 条件下 p 和 u 关系曲线: $p = f_2(u)$.

(2) 依此类推,直至固定温度 t_n 不变,得到压力 p 和电压 u 的关系曲线: $p = f_n(u)$.

(3) 设在任一温度 $T \in [t_1, t_n]$ 时,压力传感器测得的电压值为 U .将 U 分别代入 $p = f_1(u), p = f_2(u), \dots, p = f_n(u)$ 中,求出在 n 个标准温度下的压力值 $f_1(U), f_2(U), \dots, f_n(U)$.

(4) 对上述压力值 $f_1(U), f_2(U), \dots, f_n(U)$ 和标准温度 $t_1, t_2, \dots, t_n$ 进行三次样条插值,得到压力 p 和温度 t 的关系曲线: $p = g(t)$.

(5) 将(3)中温度传感器测得的实时温度值 T 代入 $p = g(t)$,即可得到经过信息融合以后消除温度影响的压力值 $g(T)$.

5 实验过程与结果分析

选用霍尼韦尔13 mm系列的高压传感器进行标定实验,其压力测量范围为0~60 MPa.分别在压力 P :0 MPa, 5 MPa, 10 MPa, 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa, 40 MPa和温度 t : -10℃, 0℃, 10℃, 20℃, 30℃, 40℃, 50℃, 60℃时,记录压力传感器输出的电压值,即为原始数据标定.

根据前述算法步骤,对实验数据进行处理.

第一步:固定温度不变,在不同温度条件下,对 p 和 u 进行多项式拟合,拟合多项式指数的选择由原始的数据决定.

首先,进行线性拟合实验,在不考虑温度条件的情况下,其最大拟合误差为0.23 MPa,相对于满量程60 MPa,代入满量程综合误差定义式得:

$$\xi = \frac{\Delta p_{\max}}{p_{FS}} \times 100\% = \frac{0.23 \text{ MPa}}{60 \text{ MPa}} \times 100\% = 0.38\% \quad (1)$$

式(1)说明,线性拟合的满量程综合误差为0.38%.虽然系统的线性度较好,但跟高精度压力检测系统的精度要求相比,相差达到一个数量级以上.因此,需要进行二次多项式拟合实验,拟合误差如图1所示,其中,最大拟合误差为0.01 MPa,则相对于满量程的综合误差为

$$\xi = \frac{\Delta p_{\max}}{p_{\text{FS}}} \times 100\% = \frac{0.01 \text{ MPa}}{60 \text{ MPa}} \times 100\% \approx 0.02\%$$

(2)

式(2)说明二次多项式拟合的效果很好,相对于线性拟合其性能提高了一个数量级.拟合后的二次多项式如下:

$t = -10^{\circ}\text{C}: p = 0.000\,038\,06u^2 + 0.312\,669u - 2.625\,1;$
 $t = 0^{\circ}\text{C}: p = 0.000\,038\,92u^2 + 0.310\,739u - 2.177\,2;$
 $t = 10^{\circ}\text{C}: p = 0.000\,038\,77u^2 + 0.310\,672u - 1.909\,8;$
 $t = 20^{\circ}\text{C}: p = 0.000\,039\,51u^2 + 0.310\,051u - 1.796\,4;$
 $t = 30^{\circ}\text{C}: p = 0.000\,040\,28u^2 + 0.309\,242u - 1.659\,0;$
 $t = 40^{\circ}\text{C}: p = 0.000\,039\,85u^2 + 0.309\,055u - 1.390\,8;$
 $t = 50^{\circ}\text{C}: p = 0.000\,039\,66u^2 + 0.308\,685u - 1.183\,7;$
 $t = 60^{\circ}\text{C}: p = 0.000\,038\,00u^2 + 0.307\,547u - 0.760\,3.$

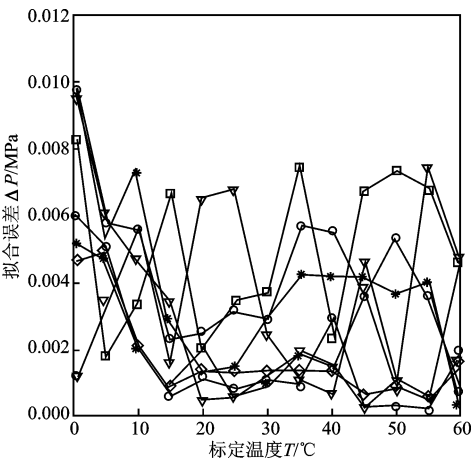


图1 二次多项式拟合误差曲线

对应的曲线如图2所示.为便于观察,图中对曲线进行了局部放大.从图中可以看出,不同温度时,压力传感器的特性曲线有一定的差别.

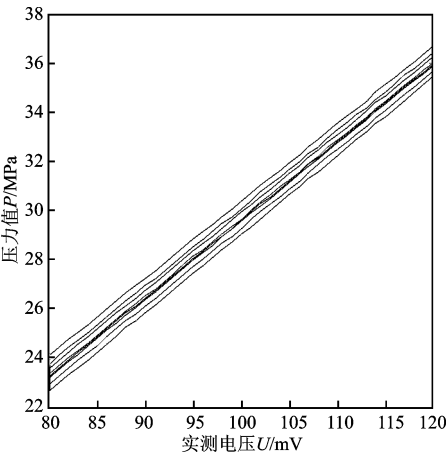


图2 多项式拟合曲线族(局部放大)

第二步:在多项式拟合的基础上,对温度和压力

信息进行三次样条插值,完成压力和温度信息融合,以得到正确的压力结果显示.

例如,在实际工作温度 $T = 27^{\circ}\text{C}$,校准压力 $P = 20.000 \text{ MPa}$ 时,系统检测到电压值 $u = 62.335 \text{ mV}$,将其分别代入上述八条曲线方程,得到不同插值点的压力值:

$P(\text{MPa}): 19.299\,1; 19.617\,3; 19.879\,3;$
 $19.953\,1; 20.038\,0; 20.291\,2; 20.471\,6; 20.807\,8.$

对上述压力值和标定温度 $T(^{\circ}\text{C}): -10, 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60$ 进行三次样条插值,三次样条插值曲线如图3所示.

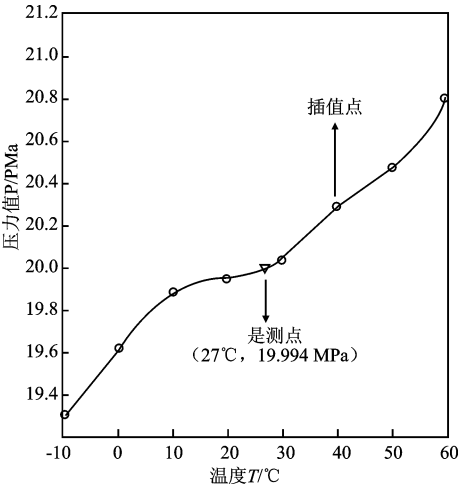


图3 样条插值实例

第三步:将实际测量中的温度值 $T = 27^{\circ}\text{C}$ 代入上述函数,得到压力值 $P = 19.994 \text{ MPa}$.此时的实际输入压力值为 20 MPa ,其满量程误差为

$$\frac{\Delta p}{p_{\text{FS}}} \times 100\% = \frac{0.006 \text{ MPa}}{60 \text{ MPa}} \times 100\% = 0.01\% \quad (3)$$

从式(3)可以看出,系统在该点的测量误差很小,且很好地消除了温度的干扰.

为了验证整体的融合效果,我们分别在实测温度 $T: 17.6^{\circ}\text{C}, 23.3^{\circ}\text{C}, 32.5^{\circ}\text{C}$ 和标准压力 $P: 10 \text{ MPa}, 20 \text{ MPa}, 30 \text{ MPa}, 40 \text{ MPa}, 50 \text{ MPa}$ 下进行信息融合算法性能测试,测试方法同上,测试结果见表1.

表1 压力检测系统测试结果

	17.6℃	23.3℃	32.5℃
10 MPa	10.012	10.992	10.001
20 MPa	20.004	19.986	19.998
30 MPa	30.005	30.002	29.993
40 MPa	40.008	39.992	40.021
50 MPa	49.997	49.994	50.004

从测试结果可以看出,系统的满量程综合误

差为

$$\xi = \frac{0.021 \text{ MPa}}{60 \text{ MPa}} \times 100\% = 0.035\%.$$

以上结果说明采用结合二次多项式拟合和三次样条插值算法融合电压信息和温度信息后,系统的性能得到显著提升,较好地消除了温度对压力检测结果的影响。

6 结束语

依据算法原理及原始标定数据提出结合曲线拟合和三次样条插值的信息融合算法. 首先固定温度不变,对数据点进行二次多项式拟合,得到压力和电压的关系曲线,再对拟合获得的压力值与标准温度进行三次样条插值,完成压力和温度信息融合,最终得到经过信息融合消除温度影响的压力值,以显示正确的压力结果. 实验验证了该算法的有效性,这样在标定点较少的情形下使压力检测系统的温度补偿达到较高的精度。

参考文献:

- [1] Pramanik. Temperature compensation of piezoresistive micro-machined porous silicon pressure sensor by ANN [J]. Microelectronics Reliability, 2006, 46 (2): 343-351.
- [2] Kowalski. Miniature pressure sensors and their temperature compensation [J]. Sensors and Actuators, 1987, 11 (4): 367-376.
- [3] 林成森. 数值计算方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [4] 孙志忠, 袁慰平, 闻震初. 数值分析 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2011.
- [5] 王宝君, 刘欣菊, 刘宝琦. 压力校准技术及应用介绍 [J]. 计测技术, 2008, 28(3): 64-65.
- [6] 刘庆, 王昌. 基于 Vague-Topsis 法的多传感器信息融合能效评价研究 [J]. 微电子学与计算机, 2014, 31 (11): 51-55.

作者简介:

夏菽兰 女, (1969-), 硕士, 副教授. 研究方向为电子技术与信息处理. E-mail: xslnj@126.com.

赵力 男, (1958-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为信号与信息处理.

(上接第 137 页)

参考文献:

- [1] Olivier C, Bernhard S, ALEXANDER Z. Semi-supervised learning [M]. Cambridge: MIT Press, 2006.
- [2] Nigam K, McCallum A K, Thrun S, et al. Text classification from labeled and unlabeled documents using EM [J]. Machine learning, 2000, 39(2-3): 103-134.
- [3] Belkin M, Niyogi P, Sindhwani V. A geometric framework for learning from labeled and unlabeled examples [J]. Journal of machine learning research, 2006, 7 (11): 2399-2434.
- [4] Joachims T. Transductive inference for text classification using support vector machines [C] // Proc of the 16th Int'l Conf on Machine Learning (ICML'99). San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1999: 200-209.
- [5] Zhou ZH, Li M. Tri-training: exploiting unlabeled data

using three classifiers [J]. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 2005, 17(11): 1529-1541.

- [6] 邓超, 郭茂祖. 基于 Tri-Training 和数据剪辑的半监督聚类算法 [J]. 软件学报, 2008, 19(3): 663-673.
- [7] Kohonen T. The Self-organizing Maps [J]. Proceedings of the IEEE, 1990, 78(9): 1464-1480.
- [8] Atanassov K T. Intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96.
- [9] Atanassov K T. My personal view on intuitionistic fuzzy sets theory [J]. Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2008, 14(220): 23-43.

作者简介:

彭雅琴 女, (1983-), 硕士, 讲师. 研究方向为神经网络. E-mail: pyqaya@163.com.

宫宁生 男, (1958-), 硕士, 教授. 研究方向为神经网络.