

Self-Correction Method Research of Multi-Sensors Information Based on IEEE1451 Smart Sensor*

YE Tingdong^{1*}, HUANG Guojian²

(1. Computer Department, Guang Dong Industry Technical College, Guangzhou 510300, China;
2. Guangzhou Academy of special equipment inspection, Guangzhou 510180, China)

Abstract: Aiming to the coupling problem of multi-sensors information, the paper advances a general self-correction model of multi-sensors information based on IEEE1451 standard. Firstly, based on the inherent signal characteristics of sensors, the model realizes the judgment of sensors fault and self-immunity treatment by the amplitude, variation trend of sensors output. Then it establishes a correction engine of given TEDS based on interpolation decoupling principle of multi-sensors information, the correction engine realizes the decoupling correction by inputting calibration data of matrix form into TEDS. The experiment result shows that it realizes decoupling correction of multi-sensors information and improves measurement accuracy by decoupling correction engine of TEDS, and it can improve reliability of self-correction by using sensors self-assessment technology before decoupling correction.

Key words: smart sensor; self-correction; decoupling; self-assessment; IEEE1451

EEACC: 7230S; 7220

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2013.02.014

IEEE1451 智能传感器多传感信息自校正方法研究*

叶廷东^{1*}, 黄国健²

(1. 广东轻工职业技术学院计算机工程系, 广州 510300; 2. 广州市特种机电设备检测研究院, 广州 510180)

摘要: 针对多传感信息耦合问题, 基于 IEEE1451 标准, 提出了一种通用的多传感信息自校正模型。模型根据传感元件输出信号额定特征, 从信号幅度、变化趋势等方面, 实现对传感器的故障判断和自免疫处理; 然后基于多传感信息插值解耦数学原理, 建立了基于特定 TEDS 格式的校正引擎, 通过将标定点数据以矩阵表格形式输入 TEDS 中来实现解耦校正。试验研究表明: 通过 TEDS 解耦校正引擎, 可实现对多传感耦合信息的良好校正补偿, 提高检测准确度, 在解耦校正的前端引入传感元件的自评估技术, 可有效提高智能传感器自校正的可靠性。

关键词: 智能传感器; 自校正; 解耦; 自评估; IEEE1451

中图分类号: TH701; TP399

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2013)02-0211-05

随着物联网信息时代的到来, 智能传感技术的功能、内涵得到不断加强和完善, 智能传感器的地位也越来越重要。智能传感器一般具有自校正、自补偿、自诊断、多传感、存储和网络化通信等功能, 其中传感信息的自校正是它的一个非常重要功能特点^[1-2]。由于智能传感器发展非常迅速, 为了统一不同厂家智能传感器的接口与组网协议, IEEE 传感技术委员会和美国国家标准技术研究所(NIST)联合制定了 IEEE 1451 智能变换器接口系列标准^[3]。通过该标准特有的变换器电子数据表格 TEDS (Transducers Electronic

Data Sheet) 校正引擎可实现多传感信息自校正^[4]。

在很多复杂应用系统中, 多传感信息之间经常存在信息耦合问题, 因此多传感信息解耦补偿是多传感信息建模校正方法的研究热点之一^[5]。目前多传感信息的解耦补偿方法主要包括: 传递函数矩阵分析方法^[6-8]和人工神经网络方法^[9]及插值解耦方法^[10]。其中传递函数矩阵分析方法十分依赖于传递函数矩阵模型的准确辨识^[8]; 人工神经网络的解耦方法利用神经网络的非线性映射能力进行解耦建模^[11], 但算法复杂, 只适用于实时性要求不高的

项目来源: 广东省自然科学基金项目(S2012040007521); 中国博士后科学基金项目(20070420779); 广州市科技计划项目(13200020)

收稿日期: 2012-10-29 修改日期: 2013-01-04

系统。插值解耦方法则采用插值计算的方法实现对传感信息解耦计算,它无需限制样本点和分割数学模型,具有准确度高、收敛性好的优点^[12]。根据 IEEE 1451 标准,校正引擎采用显式的解耦建模方式较容易与 TEDS 标准形式实现统一,为此论文将在 IEEE 1451 标准架构下,基于插值解耦方法,研究智能传感器的多传感信息自校正方法。

1 智能传感器多传感信息自校正模型

对于存在信息耦合的多个被测传感量,提出如图 1 所示的 IEEE1451 智能传感器多感信息自校正模型。此模型中,智能传感器需要检测多个参量 ($X, R, S \dots$),在图中用点划线框①、②、③分别表示 n 个传感元件组 ($X_1, R_1, S_1 \dots$), ($X_2, R_2, S_2 \dots$), \dots , ($X_n, R_n, S_n \dots$), X, R 及 S 之间存在相互信息耦合。IEEE1451 智能传感器在运行时先对各参量的传感输出信息进行初步自评估,以确保传感检测的可靠性,并可依此进行传感元件基本故障诊断。通过传感元件输出信息自评估可保证 STIM (Smart Transducer Interface Module) 模块对多传感信息进行准确解耦校正的可靠性。

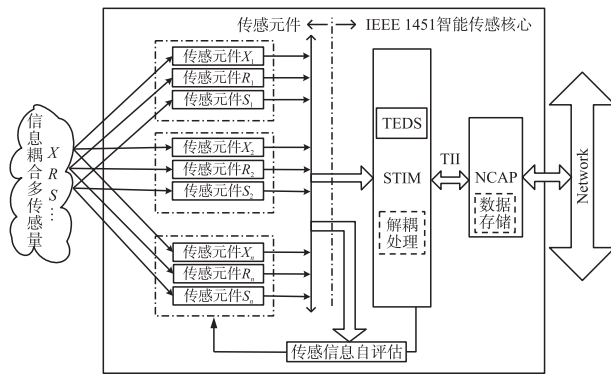


图1 IEEE1451 智能传感器多感信息自校正模型图

模型中的 NCAP (Network Capable Application Processor) 模块在运行中装载嵌入式系统,负责数据存储、网络通信等功能,NCAP 与 STIM 模块间通过 TII (Transducer Independent Interface) 接口实现短距离数据的同步传输。从图 1 可知,IEEE1451 多传感信息自校正模型具有自诊断、自校正、多传感、存储和网络化通信等功能,以此研发的智能传感器符合实际应用与发展的需求。

2 传感信息自评估技术

在实际应用中,智能传感器通常需要通过分析当前所有可用信息源,对自身工作性能、状态进行内部在线评估,以保障传感器可靠运行、准确检测,实

现传感元件器件的故障诊断和自免疫^[13-14]。但若对所有信息源进行分析评估,对传感器的运算能力要求会很高,如果能获得被测信号的一些特殊信息,比如传感器信号特征(幅度范围等)、信号变化趋势等,则可使自评估技术大为简化。由于 IEEE 1451 智能传感器 TEDS 预留的用户自定义区域可用于记录传感元件的各种特殊信息,图 2 为结合 TEDS 技术的传感信息自评估流程图。

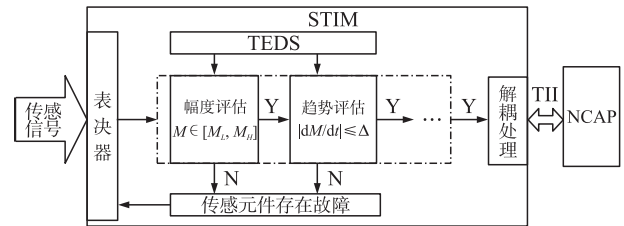


图2 TEDS 多信息特征的传感信号自评估流程图

在图 2 中,智能传感的 STIM 模块将传感器信号特征等以电子数据表格形式存储在 TEDS 上,通过信号幅值评估、趋势评估等对传感输出信息分析评估,实现传感元件自身状态的判断。其基本原理为:

事先获得被测信号的幅度范围 $M \in [M_L, M_H]$ 、变化率范围 $|dM/dt| \leq \Delta$,将这些特征根据 IEEE1451 标准定义写入 TEDS 中,在工作时,传感信号通过表决器表决后,则利用传感元件的实际输出特征在 STIM 中与 TEDS 既定特征信息进行比较判断即可。若信号幅值 $M \notin [M_L, M_H]$ 或 $|dM/dt| > \Delta$,则传感检测信息不可靠,传感元件可能发生故障,从而启动自免疫功能,屏蔽其输出。其中在应用中 $|dM/dt|$ 的计算可按一定周期对传感信号进行微分运算得到。

传感信息自评估的各传感信息特征的 TEDS 配置表如表 1 所示,其中“MaxRate”为定义的某传感元件的信号最大变化率值(4 byte),而字段项“HiLim”、“LoLim”(4 byte)则分别对应某路传感检测信号的幅度上、下限值。

表1 信号自评估的 TEDS 配置表

字段名称	描述	数据类型	字节/byte
-	Length	UInt32	4
Mod	Model Number	UInt8	4
Ver	Version Number	UInt8	1
Ser	Serial Number	UInt8	1
ID	Manufacturer ID	UInt16	2
...
MaxRate	Max Signal Rate	Float32	4
HiLim	High Limit	Float32	4
LoLim	Low Limit	Float32	4
-	Checksum	UInt16	2

3 基于 TEDS 的传感信息解耦校正方法

为了表示的方便, 设待测物理量 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 间存在信息耦合, 若要根据传感耦合模型 $Y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$, 获得 $Y_1 = f_1(x_1)$ 特征函数, 则可根据作者在文献[12]中提出的多传感信息插值解耦方法原理, 实现对多传感信息的解耦校正。为了更好地理解多传感信息的插值解耦数学原理, 用图 3 所示的四维空间耦合例来描述其插值解耦过程。

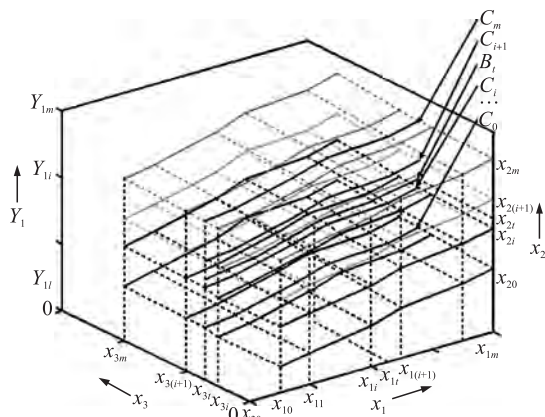


图 3 多传感信息插值解耦原理图

图 3 中, 取传感量 x_2 为 $x_{20}, \dots, x_{2i}, x_{2(i+1)}, \dots, x_{2m}$, x_3 为 $x_{30}, \dots, x_{3i}, x_{3(i+1)}, \dots, x_{3m}$ 进行组合试验标定, 得到 x_2, x_3 组合因素下的若干条特性曲线 $Y_1 = f(x_1, x_{2j}, x_{3j})$ ($j=0, 1, \dots, m$)。在多传感信息解耦过程中, 先根据检测到的 x_{3i} 值进行判断, 若 $x_{3i} \in [x_{3i}, x_{3(i+1)}]$, 则利用一元函数插值方法(如分段线性插值), 得到 $x_3 = x_{3i}$ 时的特征曲线 $Y_1 = f(x_1, x_{2j}, x_{3i})$ (图中曲线 $C_0, \dots, C_i, \dots, C_m$), 再根据检测到的 x_{2i} 值进行判断, 若 $x_{2i} \in [x_{2i}, x_{2(i+1)}]$, 则根据获得的曲线 $C_0, \dots, C_i, \dots, C_m$, 再次利用一元函数插值, 得到 $x_2 = x_{2i}$ 时的特征曲线 $Y_1 = f(x_1, x_{2i}, x_{3i})$ (图中曲线 B_i), 最终得到 x_1 与 Y_1 在任意环境 x_{2i}, x_{3i} 下二维特征曲线, 实现信息解耦。

基于上述插值解耦方法, 校正 TEDS 配置的重点将是把各传感器的标定数据 x_{ij} ($i \leq n, j \leq m$) 作为校正引擎的插值参数, 把这些标定数据以矩阵数据表格形式输入 TEDS 中, 根据 IEEE 1451 标准, 采用分段多项式函数作为校正引擎:

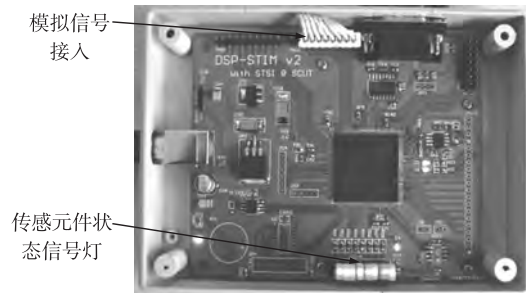
$$f(X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_{i=0}^{D(1)} \sum_{j=0}^{D(2)} \dots \sum_{p=0}^{D(n)} C_{i,j,\dots,p} \times [X_1 - H_1]^i [X_2 - H_2]^j \dots [X_n - H_n]^p \quad (1)$$

式中, X_n 为传感器 x_n 的输出变量值; H_n 为输出变量的修正值; $D(n)$ 为输出变量的阶数, 应用中一般采用二阶即可; $C_{i,j,\dots,p}$ 为多项式每一项的系数。智能传感器在实际运行中, 校正引擎先从 TEDS 读取标定点的

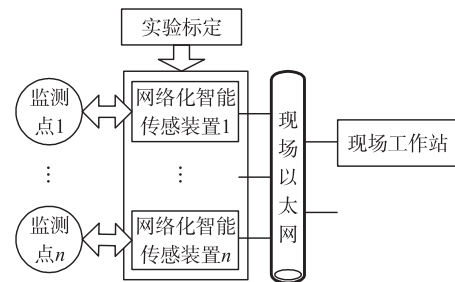
数据, 然后对多传感信息的进行传感解耦校正计算。

4 试验与分析

图 4(a) 为研制的 IEEE1451 网络化智能传感器装置 STIM 模块。为了评价网络化智能传感器装置自评估技术的有效性, 实验利用传感信号波形特征, 模拟了五个网络化智能传感器装置中温度传感元件的幅度、变化率评估。



(a) 网络化智能传感器装置 STIM 模块



(b) 网络化智能传感器装置实验系统框图

图 4 基于 IEEE1451 网络化智能传感器装置 STIM 模块及其实验系统框图

试验时将热敏传感元件 ($-50 \text{ }^\circ\text{C} \sim +300 \text{ }^\circ\text{C}$) 的量程范围和其对应电阻的下限值 $803.063 \text{ } \Omega$ ~ 上限值 $2120.515 \text{ } \Omega$, 以及变化率范围, 输入智能传感器装置的 TEDS 中; 然后用 STIM 模块驱动传感器接入模块中的片选开关、程控电阻, 来实现传感信息的输出控制, 观察此时传感器自评估的故障免疫响应。图 5 为试验所得温度传感元件的自评估数据曲线图, 横坐标为试验序号, 纵坐标为温度值。图中传感器 s_1, s_2 产生了超限故障, 传感器 s_2 在信号 5 与 6, 25 与 26 间产生了变化率超限故障, 装置在检测到传感器超限时, 实时启用了故障免疫响应, 屏蔽其信号输出, 并给出相应的状态提示。

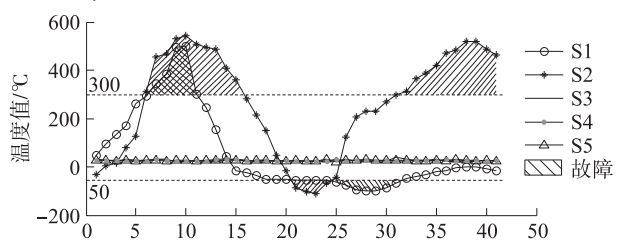


图 5 热敏传感元件的自评估数据曲线图

图4(b)为网络化智能传感装置实验系统框图,装置在使用前需要进行标定以获得 TEDS 校正参数,然后通过现场以太网就可实现对各个监测点的网络化检测。由于气体乙醇浓度的检测应用广泛,且它受到温度、湿度因素影响,其检测是一个典型多维传感信息耦合实例,下面针对气体乙醇浓度的检测开展多传感信息解耦校正的试验研究。

在检测试验时,配置一定浓度的液态乙醇液,置于精馏反应塔釜内,然后将一组乙醇气敏、温度、湿

敏传感器装在釜顶的传感器接口内。通过逐步点滴添加乙醇和加热塔釜的方式实现对校正标记数据 x_j 的标定,然后将这些标定点的数据可以以矩阵数据表格形式输入 TEDS 中,表2为3通道的插值解耦校正 TEDS 配置信息表。为了便于网络化传输,表2中传感检测值(输入通道)全部以频率值表示,通道1、2、3分别接乙醇、湿度、温度传感器,采用2阶1段多项式函数即可实现对多传感信息插值解耦校正。

表2 三通道插值解耦校正 TEDS 配置信息表

序号	名称	描述	通道1	通道2	通道3
1	Degree	校正通道的阶数	2	2	2
2	OTable	通道的偏移量	-0.056	0.025	0
3	LoBndry	3个输入通道阈值的最小值	0.000	0.000	0.000
4	HiBndry	3个输入通道阈值的最大值	200 000.000	200 000.000	200 000.000
5	CellNum	每个校正通道分成的段数	1	1	1
			0.025	0.292	0.104
6	Coefficient	校正模型中系数(实验标定)	0.034	0.287	0.112
			0.036	0.284	0.107

图6(a)为气敏乙醇传感器的输出频率曲线,智能传感装置校正引擎从 TEDS 读取标定点的数据,利用插值解耦原理进行反复插值计算,即可得到图6(b)所示的气敏乙醇传感器的信息解耦曲线,其最大解耦检测误差为 $\pm 0.601\%$,解耦时间为28.5 ms,具有良好检测准确度和实时性。

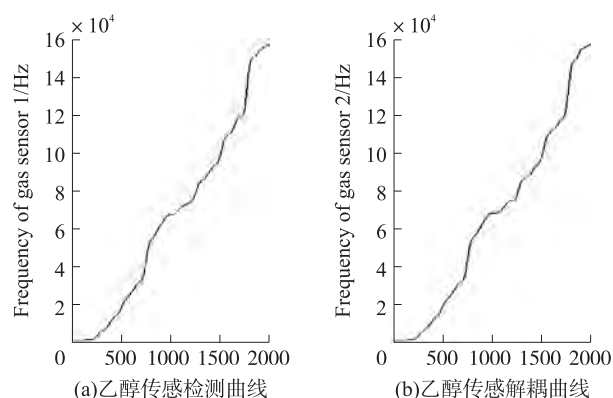


图6 乙醇传感器检测及解耦曲线

5 结论

(1)基于 IEEE1451 标准,可建立一种通用的多传感信息自校正模型,它具有自诊断、自校正、多传感、存储和网络化通信等功能。基于该网络化的 IEEE 1451 智能传感器模型,将可提高传感器系统的开发质量,减少开发时间。

(2)基于传感元件输出信号额定特征,可从信号幅度、变化趋势,甚至信号预测等方面进行传感器故障判断,并实现对故障的自免疫处理,试验证明传感元件的自评估技术可有效提高智能传感器系统和自校正的可靠性。

(3)对多传感信息耦合模型 $Y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$, 可通过反复多次的一元函数插值实现任意环境因素下多传感信息的解耦校正。基于该原理,可建立基于特定 TEDS 格式的校正引擎,试验表明通过该解耦校正引擎,可实现对多传感耦合信息的良好校正补偿,提高检测准确度。

参考文献:

- [1] Jin H Z, Lu H, Cho S K, et al. Nonlinear Compensation for Non-Contact Electronic Joystick with a Single Hall Senso[J]. Science, Measurement & Technology, 2008, 2(1): 9-17.
- [2] Jamaluddin, Hishamuddin, Abd Samad M F. et al. Optimum Grouping in a Modified Genetic Algorithm for Discrete-Time, Non-Linear System Identification [J]. Journal of Systems and Control Engineering, 2007, 221(7): 975-989.
- [3] Deniz Gurkan, Xiaojing Yuan, Driss Benhaddou, et al. UH-ToSS: A Sensor Networking Testbed with IEEE 1451 Compatibility for Space Exploration [C] // 3rd International Conference on Testbeds and Research Infrastructure for the Development of Networks and Communities, Lake Buena Vista, FL, USA: IEEE Press, 2007. 144-149.
- [4] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Standard for

- a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Common Functions, Communication Protocols, and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats [S]. New York: IEEE Std1451. 0-2007, 2007.
- [5] 刘桂雄,李夏妮,周德光. 基于多尺度数值计算的传感信息解耦新方法[J]. 光学精密工程, 2005, 13(11): 164-167.
- [6] Xu Kejun, Li Cheng. Dynamic Decoupling and Compensation Methods of Multi-Axis Force Sensors [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2000, 49(5): 935-941.
- [7] 包建东,王昌明. 握把力传感器的动态解耦补偿[J]. 传感技术学报, 2008, 21(10): 1700-1703.
- [8] 明理,梁宏,王祁,等. 基于小生境遗传算法的多维传感器动态解耦方法[J]. 传感技术学报, 2006, 19(3): 667-671.
- [9] Yu Dongchuan, Meng Qinghao, Wang Jiang, et al. Neural Network Based Left-Inverse System Dynamic Decoupling & Compensating Method of Multi-Dimension Sensors [C]//American Control Conference, 2005, 6(3): 1727-1732.
- [10] Ye Tingdong, Liu Guixiong, Hong Xiaobing, et al. Modeling Method of Multi-Sensor Information Fusion Based on Multi-Scale Interpolation Decoupling [C]//International Symposium on Precision Mechanical Measurements HeFei: HFUT, 2008. 531-536.
- [11] 张小龙,冯能莲,张为公,等. 车轮多分力传感器静态解耦方法[J]. 农业机械学报, 2008, 39(4): 18-23.
- [12] 叶廷东,刘桂雄,黄国健. 基于多尺度逼近的多维传感信息解耦方法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2009(4): 86-89, 110.
- [13] Henry M P, Clarke D W. Self-Validating Sensor: Rationale, Definitions and Examples [J]. Control Engineering Practice, 1993, 1(4): 585-610.
- [14] Feng Zhigang, Wang Qi, Shida K. Design and Implementation of a Self-Validating Pressure Sensor [J]. IEEE Sensors Journal, 2009, 9(3): 207-218.



叶廷东(1976-)男,江西南康人,广东轻工职业技术学院讲师,华南理工大学获得博士学位。主要研究方向为网络化检测与智能传感,yuetd@163.com;



黄国健(1981-)男,广东清远人,广州市特种机电设备检测研究院工程师,博士。主要研究领域为智能传感技术。