

The Research on an Intelligent Temperature Sensor Based on the Infrared Sensor Array

SONG Nianlong^{*}, LI Qi, ZHANG Xinyu, LI Qian, WANG Jing

(The Faculty of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to improve the reliability of the air preheater hot spots detecting system, this paper introduces a new kind of intelligent temperature sensors. The sensors adopt the structure of the infrared sensors array, and apply the patch estimation theory based on mean value to data processing, then use the nonlinear compensating method to calibrate the data. The hardware parts of the sensor adopt the system with dual MCU and dual bus, and each dual MCU system exports the results by its respective communication bus. The communication protocol of the system adopts the modified Modbus protocol, which can make systems do the function of ad hoc networks and self-healing. Compared with the common sensors of the air preheater hot spots detecting system, the temperature sensors mentioned have some advantages, such as wide measuring range, self-calibration, high accuracy, good compatibility and reliability, etc.

Key words: intelligent temperature; infrared sensors array; patch estimation theory; system with dual MCU and dual bus; nonlinear compensation

EEACC: 7230S;7230C

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2010.12.009

基于红外传感器阵列的智能温度传感器研究

宋念龙^{*}, 李琦, 张新雨, 李倩, 王静

(西安理工大学自动化与信息工程学院, 西安 710048)

摘要: 为了提高空气预热器热点检测系统的可靠性, 设计了一种新型的智能温度传感器。该传感器采用一种红外传感器阵列结构, 并且运用基于均值的分批估计理论对数据进行融合处理, 最后运用非线性补偿的方法对数据进行校准。该传感器的硬件采用了双单片机和双总线系统结构, 每一个单片机系统都通过各自的通讯总线将处理结果输出。系统的通讯协议采用改进的 Modbus 通讯协议, 使得系统可以自组网、自愈合。与以往空气预热器热点检测系统的传感器相比, 本传感器具有测温范围广、自校准、精度高、兼容性强、性能可靠等优点。

关键词: 智能传感器; 红外传感器阵列; 分批估计理论; 双单片机与双总线系统; 非线性补偿

中图分类号: TP212.14; TP212.6

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2010)12-1713-05

在大型电站锅炉中, 电站锅炉空气预热器(简称空预器)对于热量回收和节省能源起着重要作用, 由于空预器所处设备环境和运行方式的原因, 空预器存在发生再燃烧的隐患, 而空预器的再燃烧将会影响到整个发电机组的正常工作, 因此, 对空预器的热点检测及对火灾隐患做出准确的判断对于杜绝火灾事故有着重要的意义, 这也是国内外电站锅炉生产商比较关心的问题。

以往空气预热器热点检测系统多用热电阻、热电偶和单点红外传感器对热点进行检测, 热电阻、热电

偶和单点红外传感器测量的面积范围较小, 对空预器热点的测量会出现盲区, 容易出现火灾漏报的现象, 并且热电偶和热电阻的响应较为缓慢, 不能及时的发现热点, 一旦发现热点, 损失就会相当严重^[1-3]。

本文介绍了一种新型的基于红外传感器阵列的智能温度传感器, 用于空预器的热点检测, 本传感器采用了红外传感器阵列结构和双单片机系统、双总线结构, 具有反应灵敏、精度高、测温面积大、自校准、自组网、自愈合、可靠性高的优点, 并且能够对空预器内部及传感器环境温度变化作出迅速准确的判断。

1 智能温度传感器的结构

智能传感器的设计结构主要有两种:一种是数字传感器信号处理(DSSP),另一种是数字控制的模拟信号处理(DCASP)^[4]。

精确的设计一般都采用 DSSP 结构,通常包括两个传感器:被测量传感器和温度(补偿)传感器。本传感器采用 DSSP 结构,具体结构如图 1 所示,首先通过红外传感器阵列获得被测目标温度值,并且通过集成温度传感器获得环境温度,然后由高精度放大电路放大后同时送入两个相互独立的单片机,每一个单片机集成了 13 路 12 bit AD 模拟输入通道,对红外传感器阵列采到的每一个模拟量进行转换、分析、处理,将最终结果通过 RS485 总线根据改进的 Modbus 总线协议输出。



图 1 智能传感器结构示意图

2 红外传感器阵列原理

红外热电堆传感器的原理是将多个热电偶串联起来,将其工作端排列在很小的面积上,参考端分布在外围,使入射红外线照射在工作端,参考端则处于掩蔽场所。通过现代微电子技术,可以在很小的半导体材料上实现这种原理,制成实用的热电堆红外传感器,并将其封装起来^[5-7]。

本传感器采用的是 TPS434 红外热电堆传感器,该传感器具有很高的灵敏性和很好的重复性,封装结构顶部留有锗玻璃光窗,对红外线具有很好的透过性。传感器内还集成了一个热敏电阻,以利于温度补偿使用,如图 2。

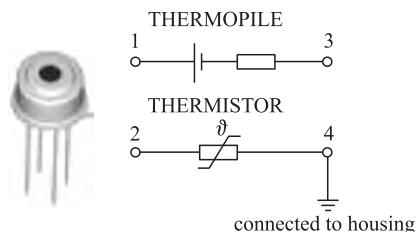


图 2 TPS434 外形及内部电路

这里选用了 7 个该传感器组成一个“一”字型的红外热电堆传感器阵列,由于红外信号比较微弱,所以必须设计一个简单的光学系统,使红外辐射损失尽可能小。在传感器阵列与被测目标之间加一个透镜,对红外辐射进行聚焦,这样就形成了一个简单

的光学系统,具体光路图如图 3 所示。透镜左侧为热源即物,右侧为热源落在红外传感器阵列上的像,物距为 u ,像距为 v ,物高为 h ,像高为 h' ,透镜的焦距为 f ,物宽为 w ,像宽为 w' ,根据凸透镜成像原理,物距、像距和焦距有式(1)的关系:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

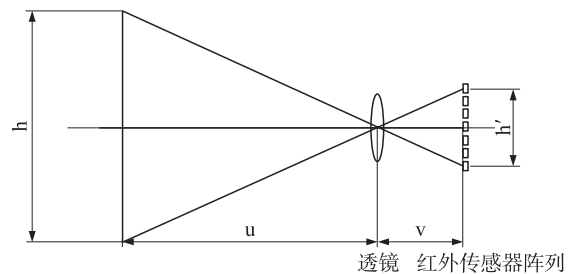


图 3 红外传感器阵列光学系统光路图

物距、像距、物高、像高有式(2)的关系:

$$\frac{h}{h'} = \frac{u}{v} \quad (2)$$

红外传感器被测目标比就可以得到:

$$\frac{D}{S} = \frac{h}{u} = \frac{h'}{v} \quad (3)$$

这种红外传感器阵列结构和光学系统的组合既可以减少红外辐射的损失,提高测量精度,又可以扩大测量的有效面积,使传感器获得更丰富的测量值,便于自校准和处理,并且比较容易实现。

3 双单片机与双总线系统

本传感器采用了双单片机与双总线系统,两个单片机系统同时独立工作,每一个单片机都有唯一的通讯 ID,各自通过独立的总线输出,当多个传感器同时连接到通讯总线上,决策机构可以自动识别各个传感器,并且建立通讯设备列表,形成一个完整的主从式网络,在通讯的过程中,决策机构定时的检测传感器,当有新的传感器连接到总线上,决策机构就可以很快的检测到新加入的传感器,将新加入传感器的 ID 添加到决策机构的通讯设备列表中,以实现自组网的功能,当某一个设备失去连接以后,决策机构可以立即检测到失去连接的传感器,把传感器的通讯 ID 号从决策机构的通讯列表中剔除,以实现网络自愈合的功能。

每一个单片机系统包括了一个高性能高速度的单片机、大容量的参数 flash 存储器、RS485 通讯总线、实时时钟、振荡电路和电源,具体结构如图 4。该系统主要负责处理由红外传感器阵列采集经高精度运放放大和集成温度传感器采集的模拟信号,将

模拟信号进行 A/D 转换、分析、处理, 将处理后的数字量通过 485 总线根据改进的 ModBus 协议输出, 本系统的外围还包含了一个实时时钟模块, 为系统提供准确的记录数据及温度异常的时间。系统的参数 flash 存储器用来存储传感器一些设置参数^[8-9]。

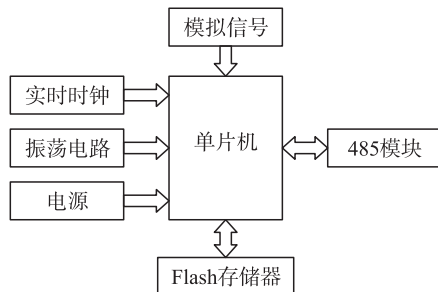


图 4 单片机系统结构图

双单片机双总线系统可以增加信息的冗余度, 降低信息的错误率, 当一个单片机系统损坏以后, 另一个还可以继续稳定的工作, 当有一条总线出现通讯故障时, 另一条总线仍可以通讯, 这样就可以保证数据传输的稳定, 提高了智能传感器的可靠性, 每一个单片机系统对模拟量都进行独立的处理, 从而提高了智能传感器测量值的精确性和准确性。

4 数据处理

本传感器采集到的信号包括集成温度传感器采集到的环境温度和红外传感器阵列采集到的被测目标的 7 路模拟量。因此数据处理就包括两方面的数据处理, 一方面是对环境温度的检测, 另一方面是对红外传感器阵列的 7 路模拟量进行处理。

(1) 对环境温度的检测和判断 本传感器选用了具有很好的线性度的集成温度传感器, 输出电压值的分辨率为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mV}$, 单片机通过 AD 通道的差分采样, 直接获得这个电压值, 然后除以 10, 就得到了温度值。

(2) 对红外传感器阵列的模拟量的处理

①硬件电路补偿 TPS434 集成了一个热敏电阻, 为了抑制红外传感器输出出现漂移, 这里选用了电桥补偿法, 设计电路如图 5, R_1 、 R_2 、 R_3 与 TPS434 中的热敏电阻组成一个电桥, 与 TPS434 中的热电堆串联起来, 对冷端起到了温度补偿的作用, 然后通过高精度运放放大, 接入单片机的 AD 采样通道。单片机的 AD 采样转换采用中断实现, 当 AD 通道将模拟值采样、转换完成后, 产生一个中断, 单片机进入中段服务程序去处理得到的数字量, 每产生一次中断, 单片机得到一个 AD 通道 16 个不同时刻的数字量, 对这 16 个数字量求平均值, 得到一个更精

确的值, 单片机通过这种方法依次得到 7 路传感器的数字量^[10]。

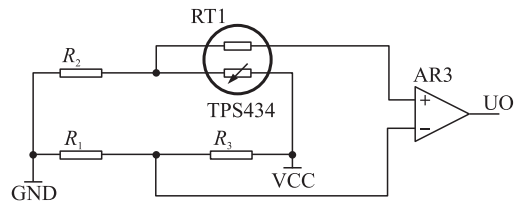


图 5 TPS434 补偿及放大电路

②粗大误差的剔除 根据大量测量数据可以得出, 大多数随机误差服从正态分布^[11], 经过实验数据证明, 本设备的红外传感器的误差也大致符合正态分布, 因此, 本传感器采用格拉布斯准则消除粗大误差。根据现场实验, 该智能传感器对红外传感器阵列中七个传感器每秒采样 2 800 次, 平均一个传感器每秒采样 400 次。如果每秒都进行一次粗大误差剔除, 传感器的单片机对格拉布斯准则表格读写次数会大大增加, 从而大量占用了单片机的处理时间, 影响了数据的实时性; 如果每分钟进行一次粗大误差剔除, 就使得粗大误差不能够及时剔除, 从而数据不能够得到及时的校正和补偿, 影响了数据的实时性和准确性。为了减小单片机运算的数据量并且为后面的校准提供一致性数据, 经过现场实验, 将消除粗大误差的周期确定为 20 s 效果最佳。

根据格拉布斯准则, 某个测量值满足式(4), 则判断此值中含有粗大误差, 应予剔除。

$$|x_i - \bar{x}| > G\sigma \quad (4)$$

x_i 为第 i 个测量值, \bar{x} 为平均值, σ 为测量值的标准差, G 值可以根据格拉布斯准则表格查得。本传感器为提高传感器的精度, 确定置信概率为 0.99, 将置信概率为 0.99 的格拉布斯准则表存入 flash 中, 根据采到的值的个数来查相应的 G 值。单片机依次将 7 路传感器的结果剔除粗大误差, 然后存到 RAM 中, 以便单片机进行下一步的融合校准。

③传感器自校准的数据处理 本传感器的红外传感器阵列包含有 7 个传感器, 相邻的传感器的测量区域都会有重叠部分, 因此, 每个红外传感器可以根据相邻的传感器的信息进行校准, 由于红外温度传感器的测量结果符合正态分布, 而且经过了剔除粗大误差处理, 数据的一致性较好, 所以, 本传感器的校准方法可以采用基于均值的分批估计理论, 能够获得可靠的测量初值, 有效消除测量中的不确定性, 提高测量结果的准确性。该方法具有计算量小, 易于编程等特点, 适合于缓变量检测系统^[12]。

本传感器将7个传感器的数据分别融合7次,其中第1个和第7个分别只与第2个和第6个相邻,所以这两个传感器的数据只能和第2个和第6个融合,而其它的传感器分别和相邻的两个进行融合。为了减小单片机的运算量,每5s进行一次融合。具体融合算法如下:

每个传感器20s的算术平均值由式(5)得,其中j为传感器的序号,值为1~7七个整数。

$$\bar{x}_j = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} x_{ji} \quad (5)$$

对应的标准差由式(6)得

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m_j - 1} \sum_{i=1}^{m_j} (x_{ji} - \bar{x}_j)^2} \quad (6)$$

由于此前没有任何的测量,因此此前测量结果的标准差 $\sigma^- = \infty$ [13]。

根据分批估计融合理论,得到的融合值方差为式(7),

$$\sigma^+ = [(\sigma^-)^{-1} + H^T R^{-1} H]^{-1} \quad (7)$$

H为测量方程的系数矩阵,当有2个传感器时, $H = [1 \ 1]^T$,当有3个传感器时, $H = [1 \ 1 \ 1]^T$ 。

R为测量噪声的协方差矩阵,当有2个传感器时,

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 \end{bmatrix}$$

当有3个传感器时,

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 \end{bmatrix}$$

根据分批估计融合理论和 $\sigma^- = \infty$ 的条件,得到数据融合值为式(8),

$$x_i = \sigma^+ (\sigma^-)^{-1} x^- + (\sigma^+ H^T R^{-1}) x \quad (8)$$

x_i 为融合后的结果, x 为测量结果。[14]

表一为100℃时融合前后7路传感器的值的比较。

表1 100℃时融合前后7路传感器的值

传感器号	测量值/℃	融合后的值/℃
1	336.8	349.56
2	380	351.05
3	424.1	378.26
4	318.7	339.04
5	331.1	324.45
6	303	318.52
7	312.8	311.29

将每次融合后得到的结果存入单片机的RAM中,在空预器每转一圈后,单片机将每一个传感器一圈中的最大值、最小值和平均值求出,存到单片机的RAM中。

④AD采样结果与温度值的换算 基于均值的分批估计理论处理后的结果仍然为电压值,要得到最后的温度值,还需进一步的转换处理。TPS434经运放输出的电压值与实际温度值的关系是呈非线性的,如图6,所以对单片机得到的数字量必须经过非线性补偿,由图6可知,该传感器的局部线性度较好,所以这里非线性补偿方法选用线性插值法,在参数存储器中建立直线参数表,单片机根据AD采到的值来选取直线,通过插值计算来获得相应的温度值。经过对各个温度段的随机抽样数据分析,如表二,实验数据证明,得到的温度值可以精确到 ± 0.1 ℃ [15]。

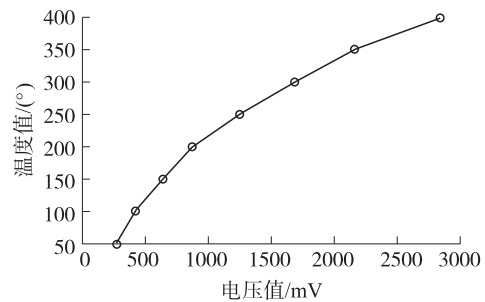


图6 TPS434 温度-电压曲线

表2 最终实验数据

标准温度/℃	7路传感器各温度段的实验温度值/℃						
	1	2	3	4	5	6	7
75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.3	75.2
116.9	116.9	116.9	117.0	116.9	116.9	117.0	116.9
186.7	186.7	186.8	186.7	186.8	186.7	186.7	186.7
242.1	242.1	242.0	242.2	242.1	242.1	242.1	242.0
285.3	285.3	285.3	285.3	285.2	285.2	285.3	285.3

本智能传感器对环境温度的检测和目标温度的检测分开处理,可以保证传感器既能够检测到当前的环境温度值,又能检测到目标温度,避免二者相互干扰,在处理目标温度时,首先运用了格拉布斯准则法剔除最大误差,然后又采用基于均值的分批估计理论对传感器的数据进行融合,最后通过非线性补偿的方法校准,既减少了单片机的运算量和CPU的占用时间,保证了程序能够稳定的运行,提高了测量数据的精确性,也增强了系统判断的可靠性。

5 结论

本智能传感器运用了红外传感器阵列,扩大

了传感器的测温面积,为判警提供了更多的参考数据,便于自校准,采用双单片机双总线结构,增加了数据的冗余度,提高了传感器的可靠性,延长了系统的平均故障时间,采用标准的通讯协议,可以实现自组网,自愈合的功能,在硬件和软件上分别进行了补偿,更好的抑制了红外传感器的漂移,在数据处理上运用了格拉布斯准则法剔除最大误差和基于均值的分批估计理论对传感器的数据进行融合,最后通过非线性补偿的方法进行校准,提高了传感器测量数据的精确性,对空预器热点检测和预测空预器火灾隐患具有重大意义。

参考文献:

- [1] 王志强,高崇辉,鞠盛武. 空气预热器热点检测系统[J]. 电站系统工程,1996,12(2):60-62.
- [2] 刘涵,刘丁,李琦,等. 电站锅炉空气预热器火灾报警系统的研究[J]. 电子技术应用,1998,24(6):35-36.
- [3] 梁炎明,刘丁,李琦,等. 基于证据推理的电站锅炉空预器热点检测[J]. 传感技术学报,2009,22(12):1843-1847.
- [4] 张子栋,吴雪冰,吴慎山. 智能传感器原理及应用[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2008,36(2):116-119.
- [5] 李志强,黄顺,张卫华,等. 基于 TPS434 的红外传感测温仪的设计[J]. 现代电子技术,2007,12:6-7.
- [6] 何道清,张禾,湛海云. 传感器与传感器技术[M]. 北京:科学出版社,2008:216-218,274-275.
- [7] 陈远金,程永进,吴雄伟. 红外温度传感器的设计与实现[J]. 红外,2006,27(2):38-40.
- [8] 李银华,杨存祥,包空军. 基于 dsPIC30F3014 冷媒填充装置控制系统设计[J]. 电子器件,2007,30(3):931-934.
- [9] 杨宪惠. 工业数据通讯与控制网络[M]. 北京:清华大学出版社,2003:79-83.
- [10] 付东旭,黄成军,郭灿新,等. 采用集成温度传感器进行热电偶冷端补偿的温度测量系统[J]. 工业控制计算机,2008,21(4):91-92.
- [11] 郁有文,常健,程继红. 传感器原理及工程应用(第二版)[M]. 西安,西安电子科技大学出版社,2003:8-8.
- [12] 李文敏,王改云. 多传感器数据融合技术在温度检测中的应用[J]. 机械设计与制造,2009,4(4):103-104.
- [13] 滕召胜,罗隆生,童调生. 智能检测系统与数据融合[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [14] 高迎慧,王文,薛永存. 基于分批估计理论与虚拟仪器的瓦斯监测系统[J]. 传感器与微系统,2007,26(4):61-63.
- [15] 程相波. 红外传感器的温度漂移和非线性补偿技术研究[J]. 北京工业职业技术学院学报,2007,6(1):8-12.



宋念龙(1970-),男,1997年于西安理工大学获得学士学位,2006年于西安理工大学获得硕士学位,现为西安理工大学自动化与信息工程学院讲师,主要研究方向为新型传感器技术, songnl@xaut.edu.cn;



张新雨(1985-),男,2008年于西安理工大学获得学士学位,现为西安理工大学硕士研究生,主要研究方向为新型传感器技术和控制理论在风力发电中的应用, xhyzzxy@126.com。