DOI:10.20033/j.1003-7241.(2025)06-0112-05

基于蚁群算法的数字温度传感器多点测温误差检测

王仕艳

(川北幼儿师范高等专科学校,四川 广元 628017)

摘 要: 环境的非线性变化使数字温度传感器多点测温误差呈现非线性特点,求解过程复杂导致数字温度传感器多点测温精度较低,为此,设计一种基于蚁群算法的数字温度传感器多点测温误差检测方法。为分析数字温度传感器多点测温的误差,首先,设计出测温数据预处理整体过程,建立数字温度传感器多点测温误差模型,在误差阈值为10℃时进行动态校准,其次,利用蚁群算法进行搜索,提升测温误差检测的精度,完成数字温度传感器多点测温误差检测方法的设计。最后,选取3个不同的实验环境,分别使用所设计方法及文献方法进行对比测试。测试结果表明,在相对正常环境下,3种方法的误差检测结果相差不大。在恶劣的温度检测环境下,所设计的测温误差检测方法所得到的结果更加准确,误差值均小于55%,检测精准度最高达98%。说明设计的检测方法具有一定有效性和准确性。

关键词: 蚁群算法;多点测温;数字传感器;误差检测

中图分类号:TP274 文献标识码:A 文章编号:1003-7241(2025)06-0112-05

Multi-point Temperature Error Detection of Digital Temperature Sensor Based on Ant Colony Algorithm

WANG Shi-yan

(North Sichuan College of Preschool Teacher Education, Guangyuan 628017, China)

Abstract: The non-linear change of the environment makes the multi-point temperature measurement error of the digital temperature sensor show non-linear characteristics, and the complex solution process leads to the low multi-point temperature measurement accuracy of the digital temperature sensor. For this, this paper designs a multi-point temperature measurement error detection method of the digital temperature sensor based on the ant colony algorithm. In order to analyze the error of multi-point temperature measurement of digital temperature sensor, first, it designs the overall pre-processing process of temperature measurement data, establishes the multi-point temperature measurement error model of digital temperature sensor, and conducts dynamic calibration when the error threshold is 10 ℃. Second, uses ant colony algorithm to search, improve the accuracy of temperature measurement error detection, and completes the design of multi-point temperature measurement error detection method of digital temperature sensor. Finally, three different experimental environments are selected, and the methods in this paper and literature are used for comparative testing. The test results shows that the error detection results of the three methods are respectively under the relatively normal environment. In the harsh temperature detection environment, the results of the temperature measurement error detection method designed in this paper are more accurate, the error values are less than 55%, and the detection accuracy is up to 98%. It shows that the designed detection method is effective and accurate.

Keywords: ant colony algorithm; multi-point temperature measurement; digital sensor; error detection

0 引言

在工业自动化、环境保护以及安全生产的过程中,温度是最主要的体现物质表面冷热程度的物理量。而温度控制则是工业产品监控过程中的基本检测指标和主要被控参数,因此精准测温是对于工业控制和航空测量等高精度测量来说具有重要意义[1-2]。数字温度传感器是一个可编程温度检测控制系统,主要通过微处理器模拟多点测量,并利用感应器进行检测对象温度测量。目前数字温度传感器的使用已经比较普遍了,它可以把被测量的温度信号直接转换为数字信号,其体积小,易于携带和安装方便等优点被广泛应用于工业、科研和教育领域,且在使用过程中测温范围广,测量分辨率高[3]。但是数字温度传感器在使用的过程中,其测量精度受到多种因素的影响,包括温度、湿度、气压、光、电磁波等。生产过程中在线检测多点温度时,数字温度传感器由于自身的误差以及环境的影响,难以获得准确的测量结果。在当下的数字温度传感器中,设计过程中将自身的测量误差降到了最低,传感器自身方面原因造成的测控误差可以忽略。

*基金项目:四川省基层卫生事业发展研究中心项目(SWFZ19-Z-57)

收稿日期:2024-01-26

但是以往被忽略的环境因素误差凸显出来，成为了当前数字温度传感器测量误差的主要构成部分[4]。

文献[5]结合热成像仪的辐射测温公式、热成像仪接收的单波辐射照度与图像灰度之间的函数关系和矿井气体和粉尘的衰减模型，提出了红外热成像的远距离精确测温方法。文献[6]使用二维火焰数值模拟得到温度及组分浓度场分布，通过生成理想条纹图片或组分浓度场进行温度场反演，进行准确度进行量化评估。但上述方法在测温误差检测中，由于环境的不同，导致了误差为非线性函数，在求解过程中不仅过程复杂，而且结果精度低。为了保证控制过程中的准确性，将温度测量过程中的误差进行具体的量化，本文设计一种基于蚁群算法的数字温度传感器多点测温误差检测方法。

1 数字温度传感器多点测温误差检测方法

1.1 多点测温数据预处理

对于数字温度传感器来说，测温过程中当温度达到额定量程的下限时，误差相对较小，且变化过程中速度较慢。当温度达到额定量程的上限时，误差变化剧烈，相对于下限来说，误差较大[7]。为了更好地分析出数字温度传感器多点测温的误差，首先要对测温数据进行预处理，结合数字温度传感器位置(part of speech，POS)数据以及传感器的实时传输数据，内置的红外热成像装置数据，对以上的数据进行综合的数据预处理。整体过程如图 1 所示。

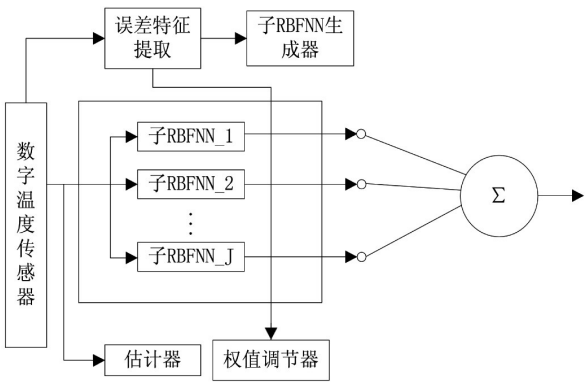


图 1 测温数据预处理过程示意图

图 1 中，将数字温度传感器得到的数据输出进行处理，得到误差特征之后，输入到权值调节器和子径向基函数神经网络(radial basis function neural network，RBFNN)生成器中。首先对数字温度传感器数据进行筛选，在进行温度采集的过程中，将高温部分的浮动数字进行剔除，由于数字温度传感器自身因素，各区域的温度信息变化都很大，在高重叠度的条件下，就可以选择 POS 点，POS 数据就可以表现为更准确的温度数据[8]。此时，根据数字温度传感器内部的红外空间分辨率，提取出周围环境的相关参数，并根据内置的补偿措施对其进行修正。

1.2 建立数字温度传感器多点测温误差模型

在分析测温误差的过程中，需要校正传感器内部热电偶的裸偶测量温度。在热电偶测温过程中，示意图如图 2 所示。

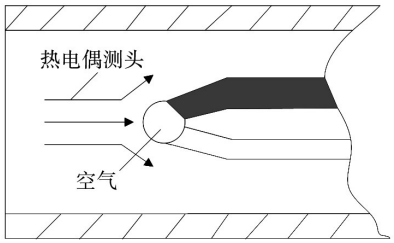


图 2 数字温度传感器热电偶测温示意图

在建立测温误差模型的过程中，为了方便计算，简化流程，忽略径向热阻、气流波动影响以及高温气流影响。结合数字温度传感器多点测温的过程，传感器的内外两面能够接受气流对流以及热辐射，对于测点的内部表面有一定的热辐射[9−10]。忽略建模过程中热电偶的热辐射影响，在推导热平衡时，遮热套与测点之间的温度存在以下关系：

$$2T_f = k_1\left(T_0^4 - T_w^4\right) + 2T_0 \tag{1}$$

式中，T_f表示测点的真实温度，T_w表示测点设备的内部温度，T_0表示遮热套的温度。其中k_1可以表示为

$$k_1 = \varepsilon_0 \frac{\sigma_0}{\alpha_1} \tag{2}$$

式中，α_1为传热系数，ε_0表示遮热套自身的影响参数，σ_0为常数[11]。在已知对流传热系数等参数的情况下，得到的测温误差如下：

$$\Delta T = T_f - T_1 \tag{3}$$

式中，T_1表示数字温度传感器得到的测量温度，为了简化运算，令

$$\begin{cases} \alpha_1 = \alpha_2 \\ \varepsilon_0 = \varepsilon_T \\ k_1 = k_2 = k \end{cases} \tag{4}$$

根据以上的计算公式，消除 T_0，能够得到测温误差的计算模型如下：

$$\Delta T = T_f - T_1 = kT_1^4 - \frac{k}{16}\left[3\Delta T + 2T_1 + k\left(T_w^4 - T_1^4\right)\right]^4 \tag{5}$$

在以上的测温误差模型中，能够推导出数字温度传感器的热电偶测量误差。但是在计算过程中，涉及到大量的寻优计算，因此本文采用蚁群算法进行测温误差的计算。

1.3 基于蚁群算法检测测温误差

蚁群算法是一种基于局部最优理论的多算法系统，它可以实现自动寻找最优解并优化。当一只蚂蚁寻找一组相同的物体时会迅速缩小与蚂蚁的距离并与之互动以保持其最优状态。通常情况下，这些蚂蚁通过建立起种

群网络来选择最优目标。该学习过程可以应用于许多工业控制系统与航空测量系统中[12]。其中蚁群算法就是非常适合这种应用与学习算法。采用蚁群算法在模拟环境下进行多点测温过程如下：首先在模拟环境中设置三个测温区域：一个是温度为10℃的区域，该区域有3个温度值的温度传感器。第二、三个区域设置了4组测温数据值(每个点对应1个测温值)。第三、三个区域设置了一种不同的目标函数。目标函数由温度计中各测值信息通过加减运算而得；当目标函数小于相应值时目标函数便停止计算但其权重不变。而当目标函数大于相应值时就增加权重，直到达到相应值且权重不变。蚁群种群在学习过程中，主要是根据种群中存在的一个个体(蚁群)根据蚁箱大小以及群落结构，决定一个群落里每一个个体能够学习多少的信息；当个体学会最优解之后将不再需要增加或删除蚂蚁数量，进而对原来大小的蚁箱进行重复更新从而得到更大的种群。这个过程就是蚁群进化过程。蚁群进化过程由每个个体在进化过程中不断学习新的信息点以及新的信息群共同完成。当一个优化问题中涉及到了较多变量时，则该问题不再局限于全局最优方案而且还需要考虑个体间差异以及个体间互动机制等其他因素所产生的全局最优解。在蚁群算法中，需要初步确定最优点的位置，将待优化的函数通过一定的变换，将其转化成一个函数最小化的问题。函数的自变量可以表示为一串十进制数字串：

$$\{d(0),d(1),\cdots,d(l-2),d(l-1)\} \tag{6}$$

其中的数字串中，自变量可以通过解码公式获取到，解码公式的形式为

$$xi=\sum_{j=0}^{\frac{l}{n-1}} d\left[\frac{(i-1)l}{n}+j\right]\times 10^{-j} \tag{7}$$

其中：l表示十进制数字串的长度，n表示函数自变量在误差模型中的维度。将十进制数字串中的每一列数字都看做是一个隔层，蚂蚁在搜索的过程中，都会面对不同的选择。蚁群算法中的目标函数是根据群体信息特征来建立群体群簇，根据初始群体簇中所包含的信息决定蚂蚁的行为以达到最优的进化路径，蚁群目标函数是将群体蚁簇按照初始状态作为其目标函数。从初始状态到群体初始状态的演化过程，这一过程被称为种群的演化过程即最优的算法迭代过程。可以通过全局信息网络求出蚁群体每个个体行为之间的距离和相对于群体目标点的局部位置关系。当前蚁群进行优化以提高其搜索精度。通过采用蚁群搜索算法对系统信号进行预处理和寻优，同时在检测误差时对系统采样值进行调整，从而提高测温精度。为便于计算出准确的测温值，首先通过构建一个群组来搜索不同的参数，主要包括最大迭代数等。然后利用优化后的蚁群算法作为控制源来调节温度传感器采样值，并在误差阈值为10 ℃时进行动态校准。根据上述误差分析，提出一种改进算法：通过蚂蚁群搜索算法来提高系统采样值拟合精度，其原理是从最小迭代数模型中搜索最优解满足条件的参数，求得温度传感器工作点并根据误差阈值通过线性加权求解获得最终结果。为了防止目标函数过大不能满足一定数量的目标函数的要求，需要将目标函数取为零。对于一个多点测温系统而言，仅需取一个点为测试对象就可以实现测温的目的；对于另外一个多点测温传感器来说还需要对多个测温区域进行测温，完成检测任务并在误差阈值为10 ℃时进行动态校准以减小影响误差。

2 误差检测方法性能测试

2.1 搭建多点测温误差测试平台

为验证本文设计的基于蚁群算法的数字温度传感器多点测温误差检测方法在实际的应用中具有一定的有效性，对该检测方法进行性能测试。在搭建多点测温误差测试平台的过程中，需要按照数字温度传感器多点测温过程中的相关数据特点，对测温误差进行分析和量化评估，本文主要针对的是环境影响下所产生的测温误差，因此搭建的多点测温误差测试平台的示意图如图3所示。

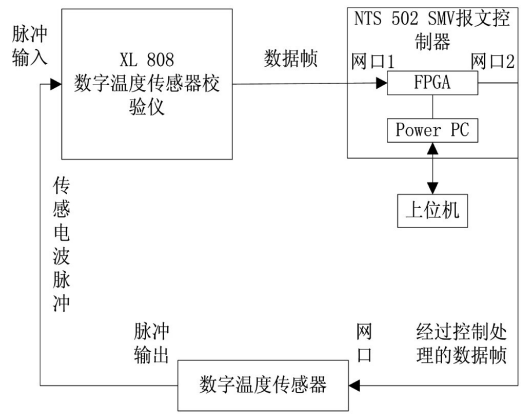


图3 多点测温误差分析测试平台示意图

图3中的数字温度传感器在测试平台中，主要是充当标准温度的计数平台，能够显示出实际的多点温度测量中的时间、温度等采样数据，并模拟出温度统计数据的传输途径。

为测试所设计方法的功能实现效果，进行方法的实现与测试。为了验证本文方法的数据安全性能与测试时间效率，实验需要在服务器上完成，服务器的硬件环境为：Inter(R)Core(TM)i7−7700HQ CPU@3.8 GHz服务器、5 TB内存、NVIDIA RTX 2080Ti 12G显卡，服务器的软件环境为：Python 4.8软件平台、Windows 10操作系统，并与上述测试平台中的数字温度传感器、数字温度传

感器校验仪、报文控制器进行连接，依托测试平台设置测温环境条件，在上述环境下进行多点测温，以获取到实验样本数据。在实验中，设置数字温度传感器的不同使用工况，相关的测试环境参数如表1所示。

表1 环境参数设置

测试环境	环境温度	测温点数量	电磁波频率	脉冲常数	功率因数	校验圈数	丢帧率
测试环境1	-25℃	10个	1 000 KHz	20 000	0.5	20	0.01%-10%
测试环境2	18℃	10个	1 GHz	20 000	0.8	30	0.01%-10%
测试环境3	45℃	10个	20 GHz	20 000	1	50	0.01%-10%

2.2 实验指标

在上述的误差检测的测试环境下，为验证本文方法的有效性，计算正常数字温度传感器的多点测温下的理论误差，相关的计算公式为

$$E=\frac{T-T'}{T'}\times 100\% \tag{8}$$

式中，T表示数字温度传感器测量出的某点的温度，T'表示该点的真实温度。

为进一步验证本文方法的实用性，以传感器多点测温检测精确度为实验指标，相关计算公式如下

$$X=(a/b)\times 100\% \tag{9}$$

式中，a表示实际温度，b表示传感器测量出的温度。

2.3 实验结果对比与分析

基于上述环境设置，采用本文设计方法、矿井红外热成像远距离测温误差分析与精确测温方法(方法1)与基于干涉法和双色法原理的二维火焰测温误差分析方法(方法2)进行对比测试。对不同测试环境下的测温误差进行计算与分析，并求出不同测试环境下的测温理论误差范围，将多种方法下得到的测试结果进行曲线拟合，对最终的误差检测结果进行对比与分析。求出数字温度传感器在测量中的理论误差之后，使用不同的方法对测温误差进行分析，在不同的测试环境中，得到的三种方法的误差分析结果与理论误差情况如表2、表3、表4所示。

表2 测试环境1下的误差分析结果

测温点编号	本文检测方法相对误差/%	方法1相对误差/%	方法2相对误差/%	理论相对误差/%
1	0.013	0.036	0.036	0.013
2	0.013	0.023	0.033	0.015
3	0.002	0.005	0.042	0.002
4	0.003	0.048	0.064	0.004
5	0.012	0.039	0.022	0.013
6	0.001	0.023	0.053	0.001
7	0.011	0.012	0.069	0.010
8	0.018	0.024	0.028	0.020
9	0.003	0.035	0.045	0.002
10	0.011	0.043	0.056	0.012

表3 测试环境2下的误差分析结果

测温点编号	本文检测方法相对误差/%	方法1相对误差/%	方法2相对误差/%	理论相对误差/%
1	0.027	0.026	0.028	0.029
2	0.028	0.025	0.023	0.026
3	0.031	0.031	0.031	0.033
4	0.025	0.025	0.024	0.025
5	0.024	0.022	0.026	0.024
6	0.035	0.033	0.032	0.035
7	0.024	0.021	0.025	0.025
8	0.028	0.025	0.023	0.028
9	0.023	0.022	0.021	0.022
10	0.033	0.031	0.035	0.033

表4 测试环境3下的误差分析结果

测温点编号	本文检测方法相对误差/%	方法1相对误差/%	方法2相对误差/%	理论相对误差/%
1	0.033	0.056	0.061	0.036
2	0.036	0.065	0.051	0.038
3	0.032	0.048	0.054	0.032
4	0.045	0.073	0.085	0.043
5	0.034	0.032	0.059	0.035
6	0.043	0.089	0.076	0.041
7	0.032	0.094	0.036	0.031
8	0.033	0.035	0.068	0.032
9	0.045	0.026	0.098	0.046
10	0.052	0.056	0.085	0.052

为了更加直观地看出不同分析方法在测温误差分析过程中的精准度，对不同测试环境下的误差分析结果进行曲线拟合，分析理论误差曲线与各方法结果曲线的相似度。经过第三方的软件分析，在测试环境1下，本文方法、基于方法1和方法2得到的结果曲线与理论误差曲线之间的相似度分别为83.6%、63.7%、53.4%；在测试环境2下，3种方法得到的结果曲线与理论误差曲线之间的相似度分别为84.3%、83.4%、82.8%；在测试环境3下，3种方法得到的结果曲线与理论误差曲线之间的相似度分别为82.4%、59.3%、52.4%。综上所述，可以看出，在测试环境相对正常的测试环境2下，3种方法的误差检测结果相差不大，但是在恶劣测试环境下，如测试环境1和测试环境3，两种传统方法的劣势凸显出来，误差分解结果偏离程度较大。

为进一步验证本文方法的实用性，以传感器多点测温检测精确度为实验指标，采用本文设计方法、方法1与方法2进行对比测试，测试结果如图4所示。

由图4可以看出，本文方法的检测精确度均高于90%，且最高达98%，而方法1的检测精确度最高为84%，方法2的检测精确度最高为75%，说明本文方法的检测精

确度明显高于对比方法，因此可以得出结论，在恶劣环境下，本文所设计的基蚁群算法的数字温度传感器多点测温误差检测方法得到的结果更加准确，具有一定的有效性。

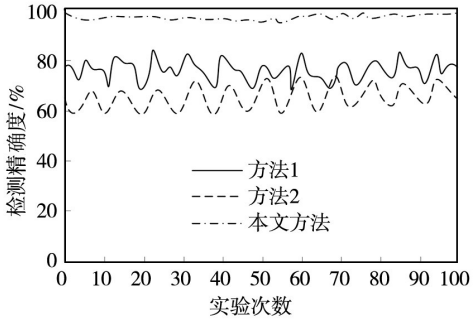


图4 三种方法的多点测温检测精度

3 结束语

本文针对数字温度传感器在使用过程中的非线性误差的检测问题进行研究，引入蚁群算法对误差检测过程进行寻优，以提升检测精确度。通过在不同测试环境下，对本文所设计的基于蚁群算法的数字温度传感器多点测温误差检测方法进行验证，结果证明，本文所设计的检测方法受到环境的影响波动较小，且检测精确度高。

参考文献：

[1] 王青山，王伟杰，郭旭，等.分布式拉曼光纤温度传感器的误差修正方法[J].激光与光电子学进展，2020，57(17)：84-92.

[2] 吴传奇，陈隽，刘帆，等.高压开关柜触头测温传感器性能检测平台的设计和应用[J].高压电器，2020，56(11)：96-101.

[3] 王伟，胡社教，谢文静.智能体感温度传感器的研制[J].自动化技术与应用，2022，41(8)：118-121.

[4] 谷行，白清，王清琳，等.基于窗函数优化的布里渊光时域反射仪测温精度提升研究[J].电子测量与仪器学报，2020，34(1)：25-31.

[5] 孙继平，范伟强.矿井红外热成像远距离测温误差分析与精确测温方法[J].煤炭学报，2022，47(4)：1709-1722.

[6] 温禹哲，陈涛，刘有晟.基于干涉法和双色法原理的二维火焰测温误差分析[J].工程热物理学报，2022，43(9)：2482-2493.

[7] 张淇，李国和，孙勇，等.SiC_p/Al切削精确测温前红外热像仪发射率标定的实验研究[J].红外与激光工程，2022，51(6)：179-188.

[8] 高树国，王丽丽，刘云鹏，等.光纤复合式变压器电磁线的温度检测精度分析[J].科学技术与工程，2020，20(2)：585-590.

[9] 邢键，马召，白岩.多光谱辐射外点罚函数反演算法的生物质锅炉火焰温度测量[J].光谱学与光谱分析，2020，40(12)：3761-3764.

[10] 陈俊沣，程辉航，魏旋，等.隧道火灾全尺寸实验中温度测量误差[J].清华大学学报(自然科学版)，2022，62(10)：1618-1625.

[11] 朱文强，董大兴.红外热成像人体体温检测仪[J].自动化技术与应用，2023，42(7)：1-4，24.

[12] 赵晨阳，张志杰，陈昊泽，等.一种用于瞬态高温测试系统动态误差修正的数字反滤波器模块化设计方法[J].中国测试，2021，47(5)：112-117，144.

作者简介：王仕艳(1987—)，女，本科，讲师，研究方向：计算机教学，计算机应用技术。

(上接第71页)

[3] Ma Y，Zhao Y，Wang X，Feng C，et al.Integrated BWM-Entropy weighting and MULTIMOORA method with probabilistic linguistic information for the evaluation of Waste Recycling Apps[J].Applied Intelligence，2023，53(1)：813-836.

[4] 陈露，张艺泷，李亚菲，等.基于KANO模型的高校图书馆数字资源导航工具需求识别[J].图书与情报，2022(6)：121-128.

[5] 张兰兰.云计算下公共图书馆资源整合共享仿真研究[J].计算机仿真，2020，37(5)：4-17.

[6] 张捷.基于极限学习机算法的图书馆读者借阅行为分析[J].现代电子技术，2020，43(5)：9-13.

[7] 杨思思，王琢玉.基于大数据的数字图书馆流量预测算法[J].现代电子技术，2020，43(11)：5-19.

[8] 李火苗.面向移动终端的图书馆书籍智能推荐系统[J].自动化技术与应用，2023，42(6)：77-81.

[9] 顾志芹.图书馆信息库资源自动检索方法研究[J].自动化技术与应用，2023，42(11)：77-81.

[10] 杜兰，陈琳琳，张丽，等.基于区块链的可信高校智慧图书馆研究[J].微型机与应用，2020，39(12)：7-12.

[11] 林雷蕾，杨良，闻立杰，等.基于信息熵的无标日志划分评价方法[J].计算机集成制造系统，2020，26(6)：9-24.

[12] 苏建宁，彭正杰，邱凯，等.基于信息熵和最小偏差的产品意象评价方法[J].机械设计，2022，4(4)：39-49.

作者简介：任阳红(1991—)，女，硕士，馆员，研究方向：图书馆数字资源建设及管理，学科服务。