

基于BP神经网络的红外测温补偿算法研究

李贞,魏勇

(平顶山工业职业技术学院 机电工程学院,河南 平顶山 467001)

摘要:基于BP神经网络学习算法构建了新型红外测温仪的技术框架;利用目标物体温度与环境温度实验数据,拟合了环境温度2阶多项式回归方程;利用体表温度与腋窝温度实验数据,拟合了体表温度2阶多项式回归方程。通过单片机内建的BP神经网络学习算法,可进一步利用检测数据优化温度补偿算法中的某些参数,能更有效地提高红外测温仪体温检测数据的精度。

关键词:红外测温;温度补偿;BP神经网络

中图分类号:TP273;TH77 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)01-0170-03

Research on Infrared Temperature Measurement Compensation Algorithm Based on BP Neural Network

LI Zhen, WEI Yong

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Pingdingshan Polytechnic College, Pingdingshan 467001, China)

Abstract: Based on the BP neural network learning algorithm, the technical framework of the new infrared thermometer is constructed. The experimental data of object temperature and ambient temperature is applied to fit the 2nd order polynomial regression equation of ambient temperature, and experimental data of body surface temperature and armpit temperature is used to fit the 2nd order polynomial regression equation of surface temperature. With the built-in BP neural network learning algorithm of the microcontroller, the detection data can be further used to optimize some parameters in the temperature compensation algorithm for more effective improvement of the temperature detection data accuracy with infrared thermometer.

Keywords: infrared temperature measurement; temperature compensation; BP neural network

0 引言

非接触测温最常见的就是采用红外辐射原理测温^[1]。红外测温无需与被测物体接触,具有检测过程干净卫生、响应速度快、可靠性高等优点。目前市场上在售的红外测温仪包含的温度补偿算法过于简单,检测体表温度数据与实际体温数据对比误差较大,尤其在冬季室外温度与体温相差大时尤其突出^[2]。由于温度补偿算法需要大量数据修正,很多红外测温仪出厂时的各种计算参数已经固化在程序中,用户无法进一步修正数据以提高精度。如果能让用户使用时可根据采集的数据,进一步优化温度补偿算法以提高测温精度,这种红外测温仪无疑具有一定技术意义。

BP(back propagation)神经网络可以追踪变化的数据,实现磁轴承PID控制^[3]和热处理工艺参数优化^[4]。因此,考虑应用BP神经网络来优化修正测温仪中的温度补偿算法数学模型参数,使得用户可以随着测量数据的积累进一步优化提高测温仪精度。

1 系统总体方案设计

基于BP神经网络学习算法,优化温度补偿算法参数的新型红外测温仪,包含硬件和软件两部分组成,技术框

架如图1所示。初始的温度补偿算法数学模型参数存储在单片机的EEPROM中,用户拿到红外测温仪后,可以在使用过程中根据大量的测试数据,利用内含的BP神经网络优化学习算法进一步训练修正温度补偿算法中的一些参数变量并存储在EEPROM中,以进一步提高红外测温仪的检测精度。

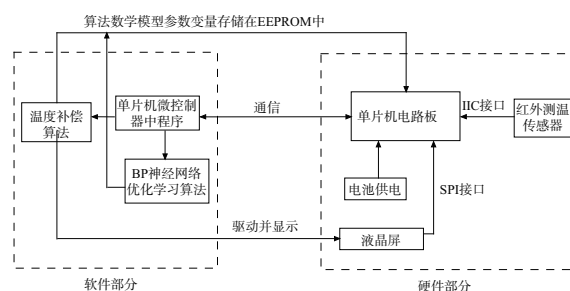


图1 基于BP神经网络优化学习算法的测温仪技术框架

2 红外测温仪硬件

测温仪硬件主要由MLX90614红外测温传感器、AVR单片机等组成。MLX90614红外测温传感器如图2所示。Atmega328单片机核心板如图3所示。



图2 MLX90614 红外测温传感器

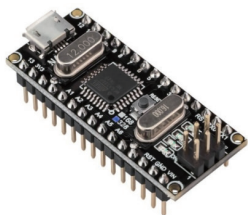


图3 Atmega328 单片机核心板

MLX90614 系列测温传感模块由比利时某公司生产^[5],MLX90614 系列测温传感模块集成了红外感应热电堆探测器芯片和信号处理专用集成芯片。由于集成了低噪声放大器、17 位模数转换器和强大的数字信号处理单元,使得高精度和高分辨度的温度计得以实现。该传感器环境温度范围为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$,物体温度范围为 $-70^{\circ}\text{C} \sim +380^{\circ}\text{C}$,标准精确度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。出厂前进行校验,保证检测数据的可靠性。该模块能输出目标物体温度和环境温度 2 个数据。

Atmega328 是 AVR 系列单片机中性能较高的微控制器型号,主频 16 MHz,闪存容量 32 kB,满足 C 语言嵌入式开发较大程序运算和内存需求。

3 温度补偿算法

首先,基于红外测温原理,红外测温传感器对周围环境温度的变化特别敏感,尤其在冬季室外使用时,较大的环境温度与目标物体温度的差值可能导致较大的测量误差^[2]。其次,红外测温仪一般检测的是额头、手腕内关等方便测量部位的体表温度,这些部位的体表温度与平时水银温度计检测的腋窝部位温度比较,仍然有一定的数据差异^[6]。因此,设计开发优良的温度补偿算法对提高测温系统的精度和适应性具有重要意义。

为评估环境温度对本系统的 MLX90614 红外测温模块检测数据的影响,利用步入式温湿度试验箱 LTH-24P-C 进行实验。通过改变环境温度,以 10°C 为间隔,从 10°C 增加至 40°C ,对目标物体温度进行测量得到实验数据。目标物体为 ISOTECH982 黑体,黑体目标温度设定为 25°C 。测量时将传感器对准黑体腔体的中心,使黑体腔体完全覆盖传感器的视场,读取 8 次读数,记录数据如表 1 所示。

表1 环境温度对目标温度的影响 单位: $^{\circ}\text{C}$

环境温度	10	20	30	40
目标 温度 测量值	24.87	25.06	25.07	25.14
	24.89	25.10	25.12	25.09
	24.98	25.11	25.17	25.21
	25.02	24.98	24.96	25.17
	24.82	24.96	25.02	25.03
	24.83	24.91	25.10	24.98
	25.08	24.87	24.89	25.11
	24.78	25.04	24.98	24.93

以表 1 中实验数据为基础构建从环境温度到目标温度的数学模型,通过计算目标温度测量值的 2 阶均差,利用 2 阶多项式来光滑化数据曲线工作量较小,且满足拟合精度的需要^[7-8]。

设目标温度 T_0 和环境温度 T_A 之间的函数关系式为

$$T_0 = a_1 + b_1 T_A + c_1 T_A^2 \quad (1)$$

式中: T_0 表示目标温度; T_A 表示环境温度。利用最小二乘法准则确定 a_1 、 b_1 、 c_1 ,产生最佳拟合数据的 2 阶多项式数学模型。依照最小二乘准则有

$$\text{Min}(S) = \sum_{i=1}^m [T_{0i} - (a + bT_{Ai} + cT_{Ai}^2)]^2 \quad (2)$$

曲线拟合结果为 $a_1 = 24.808$, $b_1 = 0.0118$, $c_1 = -0.0001$ 。

环境温度 T_A 与目标温度 T_0 数据拟合的 2 阶多项式回归如图 4 所示。

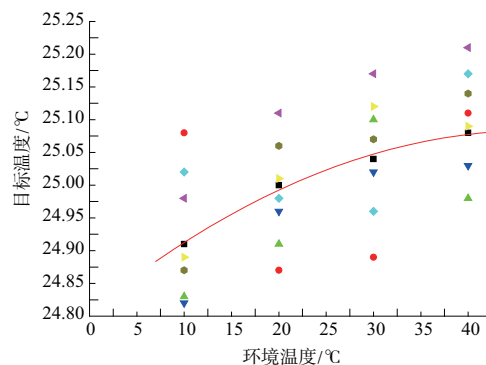


图4 环境温度 2 阶多项式回归

则环境温度补偿后修正测量体表温度值为

$$T_B = T_{\text{OBJ}} + T_0 - 25 \quad (3)$$

式中: T_{OBJ} 表示红外传感器采集的额头、手腕内关等处目标温度; T_B 表示体表温度。

上述得到的是额头、手腕内关等处体表温度补偿修正值,并不代表日常体温检测时腋窝温度,因此还需要进一步修正。利用红外测温仪检测额头体表温度,同时用水银温度计检测对应腋窝温度,多次记录数据,实验测试得到的体表温度与人体腋窝温度值对照表如表 2 所示。

表2 体表温度与对应腋窝温度值 单位: $^{\circ}\text{C}$

体表温	32.1	32.3	32.6	32.8	33.1	33.4
腋温	35.1	35.2	35.4	35.5	35.6	35.7
体表温	33.7	33.9	34.2	34.5	34.8	35.1
腋温	35.8	36.1	36.2	36.5	36.7	36.9

在上述实验数据基础上拟合体表温度的 2 阶多项式回归方程。设体表温度 T_B 与腋窝温度 T_Y 之间的函数关系式为

$$T_Y = a_2 + b_2 T_B + c_2 T_B^2 \quad (4)$$

式中: T_B 表示体表温度; T_Y 表示腋窝温度。利用最小二乘法准则确定 a_2 、 b_2 、 c_2 ,产生最佳拟合数据的 2 阶多项式数学模型。曲线拟合结果为 $a_2 = 233.922$, $b_2 = -12.744$, $c_2 = 0.204$ 。

不同体表温度 T_B 与腋窝温度 T_Y 数据拟合的 2 阶多

项式回归如图5所示。

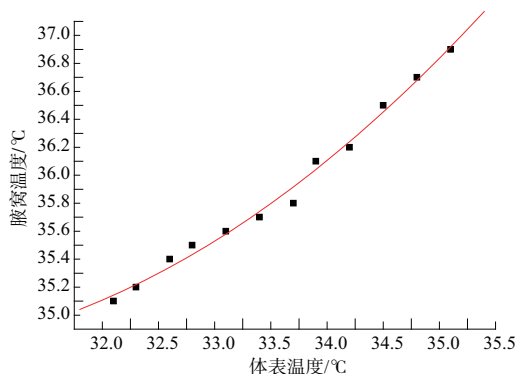


图5 体表温度2阶多项式回归

总的温度补偿算法回归方程为

$$T_Y = a_2 + b_2 [T_{OBJ} + (a_1 + b_1 + c_1 T_A^2) - 25] + c_2 [T_{OBJ} + (a_1 + b_1 + c_1 T_A^2) - 25]^2 \quad (5)$$

4 BP神经网络优化学习算法

4.1 计算步骤

利用BP神经网络的误差反向传播学习算法^[9],优化参数 $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ 的步骤如下。

1) 存储采集数据值。红外检测仪在使用过程中,采集环境温度 T_A 、额头等处目标温度 T_{OBJ} 、实际腋窝检测温度 T_Y 3个数据存储在单片机的EEPROM中,构成输入-输出数据对数据库 $(T_A^q, T_{OBJ}^q, T_Y^q), q=1, 2, 3, \dots$ 。

2) 在学习的第 $h(h=0, 1, 2, \dots)$ 阶段,把数据对 (T_A, T_{OBJ}, T_Y) 作为输入层,然后计算 z, b, a 和 f :

$$z = [T_{OBJ}(h) + a_1(h) + b_1(h)T_A + c_1(h)T_A^2]^{-1} \quad (6)$$

$$b = [T_{OBJ}(h) + a_1(h) + b_1(h)T_A + c_1(h)T_A^2]^{-2} \quad (7)$$

$$a = a_2(h) \times b(h) + b_2(h) \times z + c_2(h) \quad (8)$$

$$f = a/b \quad (9)$$

3) 采用学习算法,调整参数 $a_1(h+1), b_1(h+1), c_1(h+1), a_2(h+1), b_2(h+1), c_2(h+1)$ 。

a_1 的学习算法为

$$a_1(h+1) = a_1(h) - \alpha \left(\frac{1}{z(h)} - T_{OBJ} + 25 \right) \quad (10)$$

b_1 的学习算法为

$$b_1(h+1) = a_1(h) - \alpha \left(\frac{1}{z(h)} - T_{OBJ} + 25 \right) \frac{b(h)}{a(h)} \quad (11)$$

c_1 的学习算法为

$$c_1(h+1) = a_1(h) - \alpha \left(\frac{1}{z(h)} - T_{OBJ} + 25 \right) \frac{b(h)^2}{a(h)^2} \quad (12)$$

a_2 的学习算法为

$$a_2(h+1) = a_2(h) - \alpha(f - T_Y) \quad (13)$$

b_2 的学习算法为

$$a_2(h+1) = a_2(h) - \alpha(f - T_Y) \frac{b(h)}{a(h)} \quad (14)$$

c_2 的学习算法为

$$c_2(h+1) = c_2(h) - \alpha(f - T_Y) \frac{b(h)^2}{a(h)^2} \quad (15)$$

式中: z 为神经网络输入层的输出参数值; b 与 a 为神经网络中间层的输出参数值; f 为神经网络输出层的输出参数值; α 为学习步长,取值 $0 \sim 1$ 之间的小数; $h=0, 1, 2, \dots$,为循环学习次数; $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ 为温度补偿算法中的参数变量。

4) 令 $h=h+1$,返回步骤2)重新计算,直至误差 $|f-T_Y|$ 小于一个很小的数 ε ,则参数调整到位。

4.2 应用简析

实践应用表明,上述优化参数的算法收敛速度很快。例如,用户给定2组红外测温实际应用中得到的输入-输出数据对 $\{[33, 34.7, 36.9], [28, 34.6, 36.8]\}$,以此来通过上述学习算法训练 $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ 参数值,设定学习步长 $\alpha=0.01, \varepsilon=0.05$,红外测温仪单片机温度补偿算法初始参数 $a_1=24.808, b_1=0.0118, c_1=-0.0001, a_2=233.922, b_2=-12.744, c_2=0.204$ 。仅经过2次迭代就收敛到 $\varepsilon=0.045$,对应的优化参数值为: $a_1=24.076, b_1=-0.00836, c_1=-0.00066, a_2=233.92, b_2=-12.744, c_2=0.204$ 。将新的优化参数存储在单片机EEPROM中,即可替代旧参数完成温度补偿算法优化。2次迭代的较小计算量,也适合单片机来进行优化参数运算。

开发完成的新型红外测温仪样机,如图6所示。



图6 红外测温仪样机

5 结语

基于AVR单片机和MLX90614系列测温传感模块,开发完成了新型红外测温仪,利用实验数据拟合了环境温度、体表温度的2阶多项式回归补偿算法,同时用户通过单片机内置的BP神经网络优化学习算法可以优化温度补偿算法的某些参数,以进一步提高测温精度。

参考文献:

- [1] 张立东,苗长云,厉振宇,等. 带式输送机本质安全型红外测温仪[J]. 红外技术, 2021, 43(1): 89-95.
- [2] 魏坦勋,果连成,张珣. 基于距离补偿的非接触红外测温系统的原理与设计[J]. 工业控制计算机, 2012, 25(11): 106-107.
- [3] 郝建胜,谢振宇,陈李成,等. 基于BP神经网络的磁轴承PID控制算法研究[J]. 机械制造与自动化, 2021, 50(2): 127-130.
- [4] 姚振鑫,宋新萍,苏宁. GFE变速器输入轴热处理的工艺参数优化[J]. 农业装备与车辆工程, 2021, 59(8): 81-86.

(下转第176页)



图6 实验场景

将移动机器人接上 PC 端进行定位数据采集,先让机

器人从 1 处出发按逆时针方向沿着环境边缘运动一圈获取环境信息进行地图建模,然后再将机器人从 1 处逆时针运动一圈,并分别对地图上的 1、2、3、4、5、6、7、8、9 标记处进行航位推算定位以及扩展卡尔曼滤波定位,再分别将定位数据输出,与实际的位置信息相比较,可得到具体数据如表 1 所示。

从表 1 中可知,使用航位推算进行定位时,其位置误差比较大,并且是随着距离的增大而增大,最大可达到 39.195 cm。相比之下,使用 EKF 滤波算法进行定位后,其位置误差较小,最大位置误差只有 4.828 cm。因此,结合前面的 EKF 滤波仿真结果以及本实验可以得到结论:使用 EKF 滤波对传感器信息进行融合能够有效地提高移动机器人的定位精度。

表 1 定位实验数据比较

单位:cm

标记处	实际位置		航位推算位置及误差			EKF 滤波位置及误差		
	x	y	x	y	ΔL	x	y	ΔL
1	0	0	2.561	-2.204	3.379	-3.156	3.441	4.669
2	100	0	105.221	4.259	6.738	103.263	3.559	4.828
3	200	0	208.732	7.343	11.409	203.288	-3.317	4.670
4	200	100	211.691	110.104	15.452	197.011	103.198	4.377
5	200	200	214.264	214.976	20.682	197.109	197.216	4.014
6	100	200	117.998	217.553	25.140	103.221	203.006	4.406
7	0	200	20.198	219.634	28.168	3.258	197.636	4.025
8	0	100	23.004	123.209	32.678	3.355	97.165	4.392
9	100	100	127.504	127.925	39.195	97.111	103.423	4.479

4 结语

本文提出的惯导/GPS 组合定位方法具有较高的定位精度,很好地解决了移动机器人在室外环境下的定位问题。通过高斯-克吕格投影将机器人地理位置坐标转换成平面直角坐标,并将惯性导航系统和 GPS 模块进行融合,通过 EKF 滤波算法得到精确的定位参数,随后通过 MATLAB 进行了 EKF 滤波定位仿真,并搭建了机器人实验平台进行组合定位实验,验证了本文组合定位算法的精确性,显著提高定位的精度和稳定性,便于进行机器人后续的路径规划。

参考文献:

- [1] 钱晓明,张浩,王晓勇,等. 基于激光扫描匹配的移动机器人相对定位技术研究[J]. 农业机械学报,2016,47(3):14-21.
- [2] 东辉,陈刚,林蔚,等. 移动机器人航位误差推算算法研

究[J]. 机械制造与自动化,2019,48(6):142-144.

- [3] 侯加林,蒲文洋,李天华,等. 双激光雷达温室运输机器人导航系统研制[J]. 农业工程学报,2020,36(14):80-88.
- [4] 储星,文桂林,卢远志. 一种移动机器人自主避障与导航方法[J]. 机械科学与技术,2016,35(6):939-945.
- [5] 王宁,王坚,李丽华. 一种改进的 AMCL 机器人定位方法[J]. 导航定位学报,2019,7(3):31-37.
- [6] 刘光伟,王巍,祁贤雨,等. 室内移动机器人主动 SLAM 技术研究[J]. 机械设计与制造,2020(3):246-249.
- [7] TANG K H, LUO B, HE X F. Simplified ultra-tightly coupled BDS/INS integrated navigation system [J]. Science China Information Sciences, 2016, 59(11):1-16.
- [8] 胡伟凡,杨恢先,于洪,等. 基于高斯投影的经纬度距离参数修正方法[J]. 计算机工程,2010,36(2):244-246,251.

收稿日期:2021-09-08

(上接第 172 页)

- [5] MELEXIS CORPORATION. MLX90614 DataSheet[Z]. [S. I]: Melexis Corporation, 2007.
- [6] 夏侯凯顺,曾宪金,胡立坤,等. 基于 MLX90614 和 ZigBee 技术的体温实时监控系统的的设计[J]. 自动化与仪表,2011,26(11):23-26.
- [7] FRANK R. GIORDANO, WILLIAM P. FOX, STEVEN B.

HORTON, et al. 数学建模 [M]. 4 版. 北京:机械工业出版社,2014.

- [8] 魏勇. 煤矿采掘装备喷雾降尘效率曲线拟合[J]. 矿山机械, 2015, 43(11):130-133.
- [9] 魏勇. 煤场喷雾降尘自适应模糊控制[J]. 煤矿安全, 2018, 49(2):166-169.

收稿日期:2021-09-14