



引用格式:毛晓波,李毅丰,杨怡航,等. 灶具防干烧系统红外测温自适应算法研究[J]. 轻工学报,2017,32(6):100-104.

中图分类号:TP277 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2017.6.013

文章编号:2096-1553(2017)06-0100-05

灶具防干烧系统红外测温自适应算法研究

Study on adaptive algorithm of infrared temperature measurement for cooker anti-overheating system

毛晓波,李毅丰,杨怡航,朱枫

MAO Xiao-bo, LI Yi-feng, YANG Yi-hang, ZHU Feng

郑州大学 电气工程学院,河南 郑州 450001

School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China

关键词:

灶具;防干烧;红外测温;自适应算法

Key words:

cooker; anti-overheating; infrared temperature measurement; adaptive algorithm

摘要:针对灶具防干烧系统红外测温由于火焰不稳定等因素造成的锅底温度测量值波动问题,提出一种红外传感器测温的自适应算法.该算法对历史温度样本加权平均,并选取合适的温度采样频率和自适应系统参数,有效地滤除单次温度检测样本中的随机温度漂移,解决了温度波动造成的干烧信号判断区间增大问题,从而提高了干烧信号检测的灵敏度.实验结果表明,本算法能在5 s内稳定检测到干烧信号,且算法复杂度降至 $O(1)$.

收稿日期:2017-07-21

基金项目:国家自然科学基金项目(61473265);河南省高等学校重点科研项目(17A413011);郑州大学大学生创新创业训练计划项目(201610459008)

作者简介:毛晓波(1965—),男,河南省开封市人,郑州大学教授,主要研究方向为仿生机器视觉、智能仪器仪表.

Abstract: Aiming at the fluctuation of the pot bottom temperature measurement value caused by factors such as flame instability, an adaptive algorithm for temperature measurement of infrared sensor was proposed. By taking weighted average of the historical temperature samples and selecting the appropriate temperature sampling frequency and adaptive system parameters, the algorithm could effectively filter the stochastic temperature drift of the single temperature sample and solve the overheating signal judgement interval increasing caused by the temperature fluctuation so as to improve the sensitivity of overheating signal. Experimental results showed that the proposed algorithm could detect the overheating signal within 5 s, and the complexity of the algorithm was reduced to $O(1)$.

0 引言

随着燃气进入千家万户,在方便人们生活的同时也带来了诸多安全问题.燃气泄漏作为一个重要的安全隐患,学者们对其进行了多方面的研究;而对威胁厨房安全的另一个严重问题——灶具干烧,却鲜有报道.灶具干烧是指灶具上的锅具在被加热过程中由于液体完全蒸发造成超出正常温度使用范围而导致的危险状态.灶具干烧轻则烧坏锅具,重则引发火灾,因此,为灶具增加防干烧的功能十分必要.以电作热源烧热水的电器上多有防止干烧的装置,如电热水壶往往有两套独立的温度检测装置,一套用于检测水的沸点温度,另一套是一次性的高温断路电阻.检测水的沸点过去常用双金属开关,现在则多用居里点为 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的磁性材料.对于灶具中使用的锅具,由于锅内不同食材的沸点不同,其干烧温度无法像水的沸点那样稳定,必须采用其他方法进行检测.在对现有文献^[1-4]进行研究的基础上,本文拟提出一种红外传感器测温的自适应滤波算法,以期可靠地检测出干烧信号,从而为非接触式红外测温灶具防干烧系统提供燃气气路断开和干烧报警的判据.

1 灶具防干烧检测原理

灶具防干烧检测主要有接触式和非接触式两种形式:接触式通过检测专用燃气灶头上的防干烧探头测量锅具温度,以海尔厨电为代

表^[1];非接触式通过压电式无源无线温度传感器测量锅具温度,以方太厨具为代表^[2].结合燃气供气控制,这两种方式都可以实现防干烧的功能,但需要定制灶具或锅具,限制了通用性.笔者设计了非接触式红外测温灶具防干烧系统^[3],并取得了相关专利^[4].该系统只需在现有灶具面板上开设小孔,使内置的红外温度检测传感器能实时监测锅底温度,具有安装方便、非接触等优点.

由于锅底红外辐射信号要通过火焰区域才能到达红外温度传感器,火焰的变化会直接影响温度传感器的读数,造成锅底温度测量值的偏差,实测温度是反映锅底实际温度的一条波动的曲线见图 1^[3].

锅具防干烧的核心问题是测出干烧发生的时刻,即图 1 中温度由阶段 B 到阶段 C 转变的区间 Δt .这个过程中由于锅具内液体被加热蒸发干净,对于热容相对较小的金属锅具来说,温度会急剧上升.但实测温度波动的存在会导致

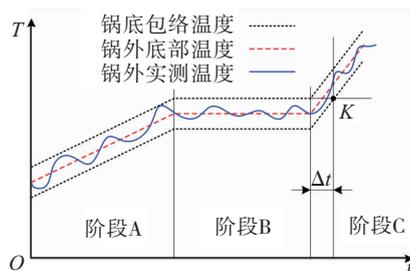


图 1 锅底实测温度与实际温度关系图

Fig. 1 Relationship between the measured temperature and the real temperature of pot bottom

在阶段 B 甚至阶段 A 产生干烧误判. 要解决以上问题, 需要对火焰变化造成的红外温度传感器实测温度的波动值进行过滤. 考虑到火焰变化规律无法预知, 故红外传感器的测温采用自适应滤波算法.

2 红外传感器测温自适应算法

2.1 算法设计

自适应控制是指在对问题进行分析、建模的过程中, 依据问题的本征自动选取算法的各类参数, 使处理过程与问题域对象数据的统计分布特性相吻合, 从而取得最佳处理效果的目标逼近过程. 自适应算法作为自适应控制的核心, 目前常用的算法有迫零算法^[5]、最陡下降算法^[6]、LMS 算法^[7]、RLS 算法^[8]和盲均衡算法^[9]等. 灶具干烧检测的目标非常明确, 即在加热过程中根据锅底温度变化找出阶段 B 到阶段 C 的转折点, 设计方案中选用低功耗的单片机来实现. 自适应检测算法步骤如下.

步骤 1 读红外温度传感器当前温度数据 $T_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$;

步骤 2 求前 δ 次温度数据均值 $T_{w_i} = \frac{1}{\delta} \sum_{i=1}^{\delta} T_i$;

步骤 3 从 $\delta + 1$ 次温度数据开始, $D_{CD_i} = T_i - T_{w_{i-1}}, T_{w_i} = T_{w_{i-1}} + \frac{1}{\delta} \times D_{CD_i}$, 其中 $i = \delta + 1, \delta + 2, \dots, n$;

步骤 4 从第 $\delta + M$ 次开始, 计算前 M 次的 T_w 值的算法平均值 $T_{A_i} = \frac{1}{M} \sum_{k=i-M}^i T_{w_k} (i = \delta + M, \delta + M + 1, \dots, n)$;

步骤 5 从第 $\delta + M + 1$ 次开始, 判断 T_{A_i} 和 $T_{A_{i-1}}$ 的值的大小, 得 $L_i = \begin{cases} 1 & T_{A_i} > T_{A_{i-1}} \\ -1 & T_{A_i} \leq T_{A_{i-1}} \end{cases} (i = \delta + M + 1, \delta + M + 2, \dots, n)$;

步骤 6 从第 $\delta + M + N + 1$ 次开始, 计算

前 N 次的 L 的和 $S_i = \sum_{k=i-N}^i L_k (i = \delta + M + N + 1, \delta + M + N + 2, \dots, n)$;

步骤 7 从第 $\delta + M + N + K + 1$ 次开始, 设 $Q_i = \sum_{k=i-K}^i S_k (i = \delta + M + N + K + 1, \delta + M + N + K + 2, \dots, n)$, 则

$$B_i = \begin{cases} 0 & Q_i > W \\ 1 & Q_i \leq W \end{cases}$$

其中, B_i 为 B 段信号, 在加热升温 A 段时 B_i 为 0, 在 B 段时 B_i 为 1, 当 B_i 再次为 0 时即进入 C 段, 可作为干烧发生的判断信号.

1.2 参数选择

考虑到算法的运行平台为嵌入式单片机, 在设计算法时需要尽量减少计算量, 以上算法各步骤的参数选择和实现要点如下.

1) 步骤 3 中, D_{CD} 为本次测量温度值与上次温度的加权均值, 对第 $\delta + 1$ 次温度数据来说, 这个加权均值为前 δ 次温度值的平均值. 考虑到用处理器向右移位进行除法运算速度最快, δ 值取 2 的整数幂, 可取 $\delta = 16$, 即 2^4 , 运算时只需将 D_{CD} 右移 4 位即可计算出 $\frac{1}{\delta} \times D_{CD}$ 的值.

2) 系统所选用的红外温度传感器的温度读取周期^[10]为 1.024 ms, 根据这一限制, 按每秒采样 950 次计算. 经验参数表明, 一般的锅具干烧 10 s 以内不会对锅具和锅具内的食材产生破坏, 为安全起见, 控制算法在 5 s 内完成干烧信号的确定, 即干烧信号应该在 4750 个采样周期内产生. 由此选定 $M = 128, N = 128, K = 512$, 则 $\delta + M + N + K + 1 = 16 + 128 + 128 + 512 + 1 = 785$, 折合时间为 $785/950 \text{ s} \approx 0.826 \text{ s}$.

3) 步骤 4, 6, 7 中都有求和运算, 按以上参数选择, 求和项分别达 128, 128, 512. 在一次采样中, 这样的运算量对于单片机来说是个负担, 因此在每次计算时可以保存第 1 项的值与当前值的累加和, 在下次计算时减去上次的第 1 项

值并加上当前最后项即可,这样的算法需要用存储空间来换计算时间,空间需求量即 $M + N + K = 128 + 128 + 512 = 768$ 个存储单元.

通过以上分析,该算法的复杂度为 $O(1)$.

3 算法验证

3.1 实测温度数据

取文献[3]中双层底不锈钢锅作为测试对象,用该锅烧水时,锅底加热面干烧临界温度为 $228.8\text{ }^{\circ}\text{C}$. 为了便于观察,在 60 s 时段内测到用燃气灶大火加热时锅底温度变化的 A, B, C 阶段,通过不断调整锅内水量,反复多次实验后,取阶段 B 为 28 s 左右的一组数据. 实验中温度采样频率为 950 Hz ,共得到 $57\ 000$ 个温度测量值. 为便于呈现,以温度折线图形式表示见图 2.

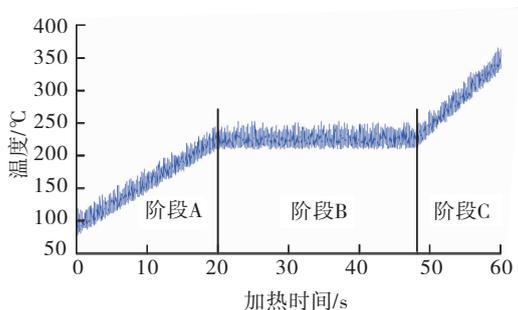


图 2 双层底不锈钢锅锅底实测温度

Fig. 2 The bottom measured temperature of the double bottom stainless steel pot

3.2 算法验算

1) 在 $57\ 000$ 项实测温度数据中,按算法规则,第 16 次才能计算平均温度,这里令前 15 次平均温度直接等于实测温度值,为对比原始温度采样值和平均温度值的不同变化率,列出前 20 次温度测量值如表 1 所示. 由表 1 可以看出,从第 17 次开始,相对于实测温度,平均温度值波动明显减小.

2) 自适应算法中参数的选择会直接影响算法的结果,为比较选取不同参数的效果,取

$\delta = 16$ 和 $\delta = 128$ 两种情况,计算得到的 T_w 值,如图 3 所示. 选定 $M = 128, N = 128, K = 512$, 分别计算 $\delta = 16$ 和 $\delta = 128$ 时 B_i 的值见图 4.

由图 3 可以看出,取 $\delta = 128$ 比 $\delta = 16$ 时的自适应温度曲线更光滑,但 AB 和 BC 段的拐点更为滞后,这是因为 $\delta = 128$ 时的运算量是 $\delta = 16$ 时的 8 倍.

表 1 前 20 次锅底加热实测温度和平均温度

Table 1 The measured temperature and average temperature of pot bottom of the first 20 times

序号	锅底实测温度	平均温度 °C
1	95.72	95.72
2	98.10	98.10
3	106.89	106.89
4	100.31	100.31
5	114.04	114.04
6	115.73	115.73
7	111.10	111.10
8	92.95	92.95
9	96.64	96.64
10	93.16	93.16
11	99.14	99.14
12	96.43	96.43
13	92.67	92.67
14	91.74	91.74
15	87.86	87.86
16	110.33	100.18
17	113.02	101.26
18	99.49	101.34
19	105.24	101.24
20	85.43	100.31

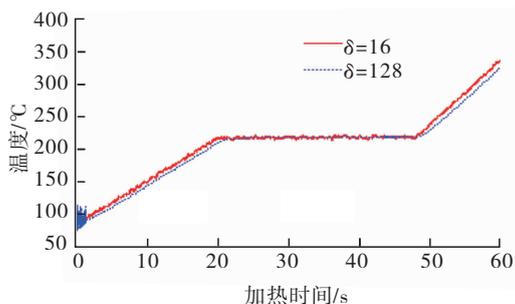


图 3 $\delta = 16, \delta = 128$ 时 T_w 值

Fig. 3 The value of T_w with $\delta = 16$ and $\delta = 128$

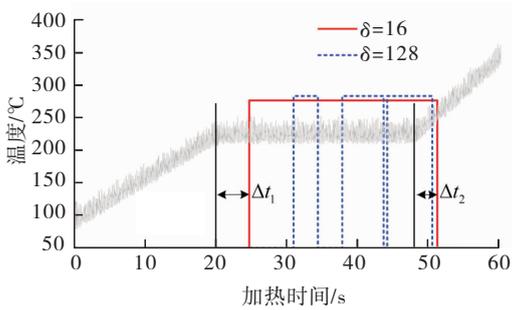


图4 $\delta = 16, \delta = 128$ 时 B 段信号

Fig. 4 The signal of B segment with $\delta = 16$ and $\delta = 128$

由图4可以看出,当 $\delta = 16$ 时,稳定输出B段信号,其中 $\Delta t_1 = 4.63\text{ s}$, $\Delta t_2 = 3.07\text{ s}$ 分别是自适应算法测出锅底温度进入B段和C段时的时滞,显然 $\Delta t_2 < \Delta t_1$,说明算法对从B段到C段的干烧信号更为敏感,且 $\Delta t_2 = 3.07\text{ s} < 5\text{ s}$,实现了设计目标;当 $\delta = 128$ 时,B段信号不能稳定产生,要想稳定产生B段信号,必须增大 M, N, K 的值,这样 Δt_2 的值也会相应增加,不能实现在5s内检测到干烧信号的目标。

4 结语

本文设计了灶具防干烧系统红外测温自适应算法,通过对历史温度样本加权平均,并选取合适的温度采样频率和自适应系统参数,能在5s内稳定检测到干烧信号。选取算法参数时考虑选择单片机的运算能力,用2的整数幂来构成参数,变除法运算为移位运算,从而将算法复杂度降至 $O(1)$ 。

通过观察加热锅底的实测温度可以发现,温度实测值在下界区域时比在上界区域时更加稳定。本算法是针对所有被测温度值进行运算来计算干烧信号的,如果改用下界轮廓值来计算干烧信号,干烧信号的测出时滞 Δt_2 应该会更小,更能提前发现干烧。因此,对锅底实测温

度的下界区域进行误差分析和从下界区域进行干烧信号判定将是下一步的研究方向。

参考文献:

- [1] 张鹏. 防干烧过热保护在大火力家用燃气灶上的应用综述和开发研究[J]. 电器, 2012(S1): 541.
- [2] 宁波方太厨具有限公司. 一种防止锅具干烧的无线测温装置及其工作方法:105784155A [P]. 2016-07-20.
- [3] 李毅丰,毛晓波,杨怡航,等. 非接触式红外测温灶具防干烧系统设计[J]. 郑州大学学报(工学版), 2017,38(5):18.
- [4] 李毅丰,李涛,刘文彬,等. 防止金属锅烧干的报警装置:205211093U [P]. 2016-05-04.
- [5] 芮义,斌李鹏,魏广雷,等. 基于迫零算法的二相码旁瓣抑制滤波器设计[J]. 现代雷达, 2013, 35(8):28.
- [6] 燕飞,赵书敏. 基于最陡下降的稳健 LCMV 波束形成算法[J]. 计算机仿真, 2012, 29(6):117.
- [7] 高利娟,刘云,赵玲. 双向数据挖掘的反馈预测分析[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2011, 26(6): 80.
- [8] 王红星,陆发平,刘传辉,等. 基于 RLS 算法的椭圆球面波调制信号预失真方法[J]. 中国电子科学研究院学报, 2016, 11(1): 98.
- [9] 郭业才,胡苓苓,丁锐. 基于量子粒子群优化的正交小波加权多模盲均衡算法[J]. 物理学报, 2012, 61(5): 054304-1.
- [10] Melexis. MLX90614 family Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39 [EB/OL]. (2015-06-29) [2017-03-20]. <https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/mlx90614>.