

基于遗传算法的热风回流焊温度控制系统设计^①

徐立娟^{②*} 雷翔霄^{③**}

(* 长沙民政职业技术学院电子信息工程学院 长沙 410004)

(** 湖南大学电气与信息工程学院 长沙 410082)

摘 要 为实现热风回流焊温度的准确控制,设计了将 PID 控制与遗传算法相结合的复合控制算法。采用 STM32 单片机、热电偶和固态继电器分别作为控制处理器、温度感知器和温控执行机构来设计温度控制系统,构建了智能 PID 控制算法来动态调整控制过程中的 3 个参数。实验结果表明,该系统在目标温度为 90 ℃ 时的控制精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,超调量低于 6%,满足了热风回流焊机温度控制要求,具有良好的工程应用前景。

关键词 遗传算法; 温度控制; 优化; 智能 PID

0 引 言

热风回流焊作为表面贴装生产中的重要环节,是一种自动焊接过程,其焊接质量的优劣直接影响电子产品的质量和可靠性,而影响焊接质量的主要因素之一是回流焊机的焊接温度,因此对回流焊机的焊接温度进行准确的控制具有十分重要的现实意义。

温度控制在电子元器件自动焊接、炼钢、漆包线检测^[1]、温室^[2]等领域得到了广泛的应用。尽管众多国内外研究者对此进行了大量卓有成效的研究,取得了丰硕的应用成果^[1-4],但依然有大量研究人员在寻找更加高效和精准的温度控制算法并将其应用于工程实践中。文献[3]将 RBF 神经网络和 PID 控制结合起来对温室温度进行控制,实现了动态响应快、稳态精度高、超调量小的控制目标。文献[5]将 BP 神经网络和增量式 PID 控制相结合对 DFB 激光器进行恒温控制,达到了高精度、快响应的控制目标。文献[6]利用遗传算法在线优化 PID 参数,并将其应用到半导体激光器温控系统中,取得了令人

满意的效果。文献[7]针对 DFB 激光器温控系统,利用自适应遗传算法优化模糊 PID 的参数,实现了 DFB 激光器在 5 ~ 65 ℃ 温度范围内的有效控制。文献[8]对冶金过程中的焙烧炉温控系统进行研究,提出了一种基于遗传算法的预测自整定 PID 控制算法,并进行了仿真分析,达到了预期的控制效果。文献[9]利用遗传算法优化 PID 控制器参数,并在 Matlab 中进行仿真实验,实现了快速、准确以及稳定的环境测试舱温度控制。

本文对温度控制进行了研究,构建了基于 STM32 的温度控制系统,设计了 PID 控制算法,利用遗传算法在参数寻优方面的优势对控制器的参数进行优化,将其应用于热风回流焊机的温度控制系统,验证了温控系统的可靠性和有效性。

1 热风回流焊温度控制系统

1.1 总体设计框图

本文设计的基于遗传算法的热风回流焊温度 PID 控制系统框图如图 1 所示。

① 国家自然科学基金(51677063)资助项目。
② 女,1970 年生,硕士,副教授;研究方向:智能控制,高职教育研究;E-mail: 306400605@qq.com
③ 通信作者,E-mail: 305444938@qq.com
(收稿日期:2018-12-20)

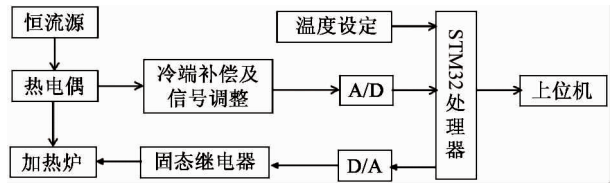


图 1 系统框图

整个控制系统包括 STM32 处理器模块、温度检测模块、信号调理模块、驱动电路等组成。其工作原理为热电偶将检测到的温度信号转换为微弱的电信号,经冷端补偿、信号调理和 A/D 转换后送入 STM32 处理器,处理器根据控制策略计算得到控制量,进而改变固态继电器的通断时间,从而控制对电阻加热炉进行加热。

1.2 温度测量及信号调理电路

由于恒流源抵抗外界环境因素的干扰能力强,因此选用恒流源来设计温度检测电路。前端热电偶信号处理器选用采用美国 AD 公司自带冷端补偿技术(冷端补偿范围为 0 ~ 50 ℃)和信号放大器于一体的热电偶放大器 AD595,其测量电路如图 2 所示。

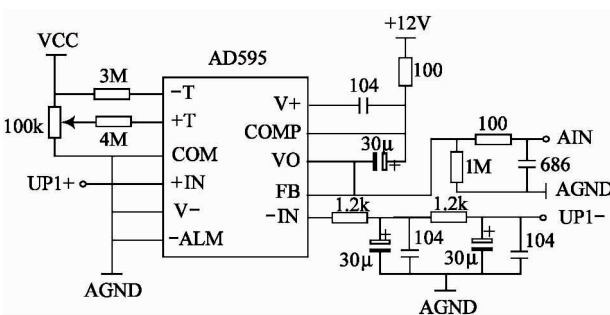


图 2 温度测量电路

1.3 驱动控制电路

通过控制固态继电器的得电时间实现控制热风回流焊机温度的目的。在 STM32 的输出口接光电隔离芯片和功率驱动芯片 DRV592,用脉宽调制技术(pulse width modulation, PWM)来触发,从而使其功率得到放大,驱动固态继电器工作。

2 热风回流焊的 PID 控制算法

热风回流焊机温度控制系统作为温度控制的一

种,其传递函数可表示为^[10,11]

$$G(s) = \frac{k}{(1 + T_d s)(1 + \tau s)} = \frac{k}{T_d \tau s^2 + (T_d + \tau)s + 1} \tag{1}$$

式中, k 为放大系数, τ 为滞后时间, $T_d = C/A$ 为电加热装置的时间常数,其中 C 为比热, A 为散热系数。

令热风回流焊机的输出和温度偏差分别为 $u(t)$ 和 $e(t)$, 则温控系统的 PID 表达式为

$$u(t) = k_p e(t) + k_d \frac{d}{dt} e(t) + \int k_i e(t) dt \tag{2}$$

其中, k_p 是比例系数, k_i 为积分系数, k_d 是 6C 微分系数。

3 基于遗传算法的 PID 控制参数寻优

遗传算法是模仿生物进化的优化算法^[6],其基本思想是将求解问题转换为由个体组成的演化群体,并对该群体进行一系列的遗传操作,直至求到最优解^[12]。

3.1 参数选优

对 PID 控制器的 3 个参数 k_p 、 k_i 、 k_d 用 12 位的二进制数进行编码,3 个参数依次串联形成一个个体,则个体的长度 $L = 12 \times 3 = 36$ 。

利用遗传算法对 PID 控制的 k_p 、 k_i 、 k_d 进行寻优操作时,首先确定其目标函数^[6,12,13]为

$$J = \int_0^\infty [\omega_1 | e(t) | + \omega_2 u^2(t)] dt + \omega_3 t_r \tag{3}$$

式中, ω_1 、 ω_2 、 ω_3 为权重, t_r 为系统上升时间,目标函数的取值越小越好。

假定参数 $P \in [P_{\min}, P_{\max}]$, 采用 m 位的二进制数 b 表示,则有:

$$P = P_{\min} + \frac{b}{m^2 - 1} P_{\max} \tag{4}$$

每个个体依据适应度比例法进行个体的选取,即:

$$P_s = f_i / \sum_{i=1}^M f_i \tag{5}$$

其中, f_i 为个体适应度, M 为种群个数, P_s 为个体被选择的概率。

遗传算法在进化初期,由于适应度很大的个体占有较大比例,这些个体因竞争力突出而主导整个选择过程,导致算法过早收敛,影响全局最优解的求取;在算法的进化后期,由于个体间的适应度差值不大,个体间的竞争力减弱,搜索过程变得漫无目的,同样影响全局最优解。为有效求取算法的全局最优解,采用单点交叉法来计算进化时的交叉率 p_c 和变异率 p_m ,即:

$$\begin{aligned} p_c(k+1) &= p_c(k) - [p_c(1) - 0.4]k_{\max} \\ p_m(k+1) &= p_m(k) - [0.4 - p_m(1)]k_{\max} \end{aligned} \tag{6}$$

式中, $p_c(k)$ 为第 k 代的交叉率, $p_m(k)$ 是第 k 代的变异率, $k_{\max}$ 是最大遗传代数, $k \in [1, k_{\max}]$ 。

3.2 控制器设计

图3为基于遗传算法的热风回流焊温度PID控制系统结构框图。

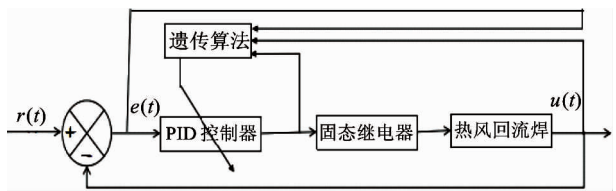


图3 控制器结构框图

PID控制器的参数寻优由遗传算法完成,寻优流程图如图4所示。

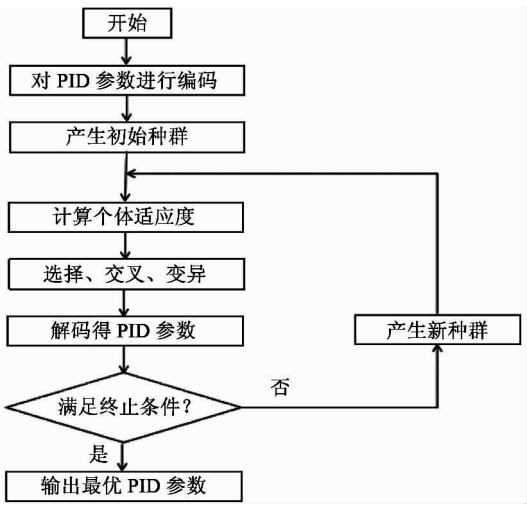


图4 参数遗传寻优流程图

4 实验结果与分析

将前述遗传算法的PID温度控制算法应用于热风回流焊及温度控制系统中,初始交叉率和变异率分别为0.75和0.01,种群规模为20,控制器的3个参数的变化范围设置为 $[0.01, 8]$,当权重 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 分别为0.8、0.05、2,遗传代数为100,目标温度为90℃时寻优结果为 $k_p = 2.52$, $k_i = 0.512$, $k_d = 3.17$,得到的温度控制结果如图5所示。

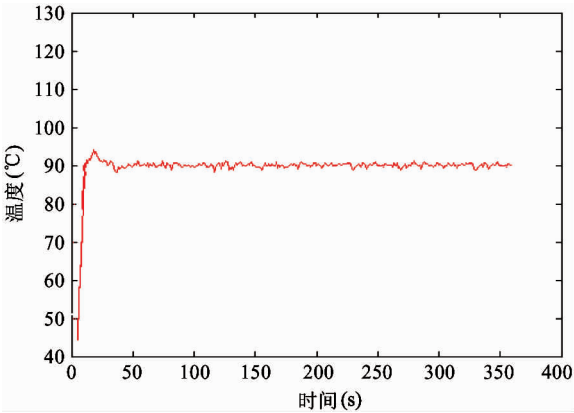


图5 90℃时的温度控制结果

从图5可以看出,当目标温度为90℃时,采用基于遗传算法的热风回流焊温度PID控制算法,在电路板焊接过程中温度控制精度约为 $\pm 1^\circ\text{C}$,超调量低于6%,满足了热风回流焊的温度控制要求。

5 结论

为实现热风回流焊的温度控制要求,文中介绍了温度控制系统的硬件设计方案,推导了基于遗传算法的PID温度控制算法,并将其应用到热风回流焊机的温度控制系统中,当目标温度为90℃时,在电路板自动焊接过程的随机扰动中实现了控制精度约为 $\pm 1^\circ\text{C}$,超调量低于6%,满足了热风回流焊机温度控制要求,具有一定的应用前景。

参考文献

[1] 雷翔霄,徐立娟.智能软化击穿仪温控系统的设计与实

- 现[J]. 现代电子技术,2010,33(1):174-176
- [2] 屈毅,宁铎,赖展翅,等. 温室温度控制系统的神经网络 PID 控制[J]. 农业工程学报,2011,27(2):307-311
- [3] 孙涛,李建平,王贵桥,等. 液压张力温扎机薄带在线加热温度控制[J]. 东北大学学报(自然科学版),2016,37(10):1398-1402
- [4] 雷翔霄,徐立娟. Smith 预估控制在波峰焊温度控制系统的应用[J]. 高技术通讯,2018,28(5):457-461
- [5] 康伟. 基于 BP 神经网络的 DFB 激光器恒温控制系统建模与仿真[J]. 激光杂志,2015,36(4):59-61
- [6] 徐娟娟,陈晨,杨洪军. 基于 PID 控制和遗传算法的半导体激光器温控系统[J]. 沈阳工业大学学报,2017,39(4):449-453
- [7] 马小雨. 基于自适应遗传算法的 DFB 激光器模糊 PID 温控系统[J]. 沈阳工业大学学报,2017,39(4):454-458
- [8] 杨智,高靖. 基于遗传算法的预测自整定 PID 控制器[J]. 控制与决策,2000,15(1):113-115
- [9] 李树江,赵晨,苏锡辉,等. 基于遗传算法优化 PID 控制器参数的环境测试舱温湿度控制[J]. 南京理工大学学报,2017,41(4):511-518
- [10] 陶吉利. 热风回流焊机温控系统的研制与开发[D]. 长沙:中南大学信息工程学院, 2004: 4-5
- [11] 鲁五一,汪学军,向涛,等. 基于热平衡机理的热风回流焊机多温区系统动态建模及仿真[J]. 热加工工艺,2006,35(19):51-55
- [12] 宋胜利,左敦稳,王珉,等. 基于遗传算法寻优的 PID 控制技术及应用[J]. 系统工程理论与实践,2003,23(9):135-139
- [13] 李雅,黄少滨,李艳梅,等. 基于遗传算法的反例理解[J]. 哈尔滨工业大学学报,2016,37(10):1-7

Design of temperature intelligent PID control system of reflow soldering machine based on genetic algorithm

Xu Lijuan^{*}, Lei Xiangxiao^{***}

(^{*} Electronic Information Engineering School, Changsha Social Work College, Changsha 410004)

(^{***} College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082)

Abstract

In order to achieve the control of the temperature of reflow soldering machine, a temperature control system combining PID control and genetic algorithm is designed. The temperature control system is designed through taking the single-chip microcomputer of STM32, thermocouple and solid state relay as the control processor, temperature sensor and temperature control actuator respectively. An intelligent PID control algorithm is constructed to dynamically adjust three parameters of PID in the control process. The result shows that when the target temperature is 90 °C, the temperature control accuracy is ± 1 °C, and the overshoot is less than 6%. It can meet the requirement of the temperature control of reflow soldering machine. The designed system has a prospect in engineering application.

Key words: genetic algorithm, temperature control, optimization, intelligent PID