



# 基于 GA 参数辨识的直流伺服电机 PID 调节器的设计

## 摘要

针对数控火焰切割机自动调高系统的特点和要求,采用遗传算法对其位置调节器 PID 参数进行全局优化辨识,有效地解决了直流伺服电机的控制精度和快速性的问题.仿真结果表明,与传统的参数辨识法相比,遗传算法参数寻优使自动调高系统的动态性能大幅提高,具有很强的鲁棒性.

## 关键词

数控火焰切割机;自动调高系统;遗传算法;PID 参数辨识;优化

中图分类号 TM383.4

文献标志码 A

## 0 引言

“焊接与切割”是现代制造行业的关键加工技术.切割是焊接的首道工序,切割断面质量、切割效率及材料利用率的高低直接影响着产品的质量和生产成本.自从 1964 年日本在船舶行业开始制造使用数控火焰切割机以来,数控火焰切割机在我国的制造业中逐步得到广泛的应用.在实际切割加工过程中,由于待加工的板材可能高低不平、厚度不一,为了提高切割断面质量,减少废料的产生,需要保持切割机割炬到板材的高度恒定<sup>[1]</sup>,因此数控火焰切割机必须辅有良好的自动调高系统,才能发挥最大的效率.而自动调高系统运行的精度和可靠性,直接影响着产品的质量.

常用的数控火焰切割机的自动调高系统一般采用传统的边界稳定法或误差积分指标最优法对 PID 调解器进行参数校正,然而实际工业生产过程往往具有非线性、时变不确定性,如自动调高系统中常常会出现热变形、传统刚性变形等诸多非线性因素,因此常规的 PID 调解器参数往往整定不良,对运行工矿适应性差.遗传算法是一种宏观意义上的仿生算法,以设定的待辨识参数作为搜索对象,对调节器参数进行全局寻优<sup>[2]</sup>.本文将遗传算法应用于数控火焰切割机自动调高系统 PID 调节器的参数辨识,给出了参数辨识的基本原理和辨识的基本过程.结果表明,该方法是有效的,且算法具有计算速度快、精度高、程序通用性强等优点,为自动调高系统的参数辨识提供了一种新的途径,具有重要的工程实用价值.

## 1 自动调高系统的结构及数学模型

数控火焰切割机自动调高系统的基本外形结构如图 1 所示<sup>[3]</sup>,其中受控电机是核心部分.电机为伺服直流电机,参数如下:额定电压  $U=24\text{ V}$ ,额定电流  $I=6\text{ A}$ ,额定功率  $P=92\text{ W}$ ,额定转速  $n=6\ 000\text{ r/min}$ ,电枢回路总电阻  $R=1.420\ \Omega$ ,电枢回路总电感  $L=0.001\ 42\text{ H}$ ,转动惯量  $J=0.007\text{ mN}\cdot\text{m}^2$ ,PWM(Pulse Width Modulation,脉宽调制)装置放大倍数  $K_s=2$ .

电机的控制系统结构框图如图 2 所示<sup>[4]</sup>.该控制系统本质上是一个位置随动系统,由 3 个反馈控制环组成,内环是电流环,中间是速度环,外层是位置环.

首先建立起被控对象的数学模型,分析影响系统指标的各种因

收稿日期 2014-05-21

作者简介

冯常奇,男,硕士,讲师,研究方向为控制算法优化、PID 控制等.64430452@qq.com

江品力(通信作者),男,研究方向为电机的智能控制,大型电气控制系统的设计、维护和优化等.397451765@qq.com

1 武汉船舶职业技术学院 电气与电子工程学院,武汉,430050

2 武汉天龙电梯工程技术有限公司,武汉,430071

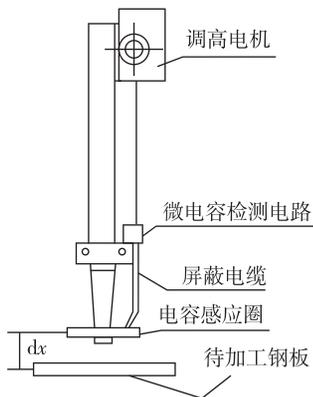


图1 自动调高系统外形结构

Fig. 1 Outline of the automatic height adjusting system

素,再逐一对各环进行调节器参数整定.电流环 ACR 的控制对象是双惯性型的,显然电流调节器应采用 PI 型校正成典型 I 型系统.由于要求转速对负载扰动无静差,则在转速调节器 ASR 中必须含有积分环节,因此转速环开环传递函数共有 2 个积分环节,所以也应该采用 PI 调节器设计成典型 II 型系统,这样的系统同时也能满足动态抗扰性的要求.位置环是整个自动调高系统的外环,其调节器 APR 的选择和参数整定是至关重要的,它直接影响系统动态性能的优良程度,并可以补偿 2 个内环动态性能的不足.经对电流环和速度环整定后,位置外环的开环传递函数  $G(s)$  等效为

$$G(s) = \frac{1/\alpha}{\frac{T_{\Sigma n} S^3}{K_N} + \frac{1}{K_N} S^2 + \tau_n S + 1} \cdot \frac{1}{S} = \frac{1000}{2.86 \times 10^{-6} S^4 + 4.1 \times 10^{-4} S^3 + 0.035 S^2 + S}$$

其中: $\alpha$  为转速反馈系数; $K_N$  为转速环开环增益; $\tau_n$  为转速调节器超前时间常数; $T_{\Sigma n}$  为转速小惯性时间.

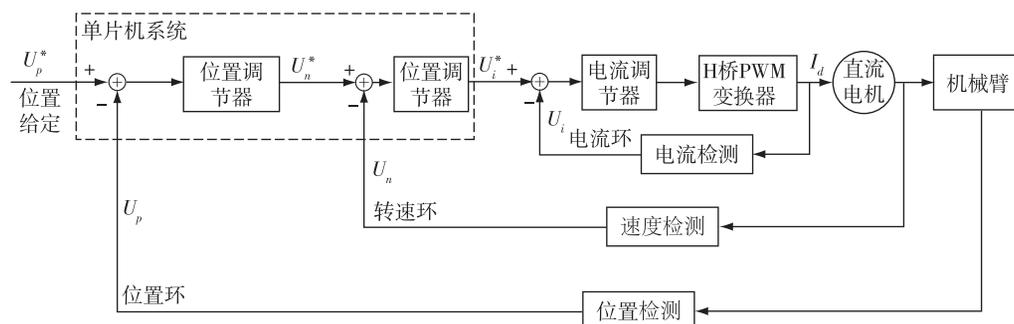


图2 电机控制系统结构框图

Fig. 2 Framework of the motor control system

本文采用遗传算法对位置调节器进行全局寻优参数辨识,以期达到最佳控制效果.

## 2 基于遗传算法的自动调高系统 PID 调节器参数辨识过程

### 2.1 遗传算法

遗传算法作为一种全局优化搜索方法,它的基本操作<sup>[5]</sup>如下:

1)复制:复制是从一个旧群体中选择生命力强的个体位串产生新种群的过程,根据位串的适配值拷贝,也就是指具有高适配值的位串更可能在下一代中产生一个或多个子孙.复制操作一般通过随机方法实现,复制操作模拟了达尔文的适者生存理论.

2)交叉:复制操作只能从旧群体中选择出优秀者,但不能创造新的染色体,而交叉模拟了生物进化过程中的繁殖现象,通过 2 个染色体的交换组合,来产生新的优良品种.它的过程为:在匹配池中任选 2 个染色体,随机选择一点或多点交换点位置,交换双亲染色体交换点右边的部分,即可得到新染色体的字串.

3)变异:变异运算用来模拟生物在自然界进化中由于各种偶然因素引起的基因突变,它以很小的概率随机地改变遗传基因(表示染色体的符号串的某一位)的值.若只有复制和交叉,没有变异,则无法在初始基因组合以外的空间进行搜索,使进化过程在早期就陷入局部解而进入终止搜索状态,从而影响解的质量.

### 2.2 基于遗传算法的 PID 调节器的参数辨识过程

#### 2.2.1 群体规模的设置

群体规模是遗传算法的重要参数之一.群体规模越大,算法陷入局部最优解的可能性越小,但计算量将大大增加,影响优化速度;群体规模越小,遗传

搜索空间越窄,容易出现未成熟收敛现象.在目前应用遗传算法对电机进行优化的大多数文献中,一般把规模设定在 60~120 之间<sup>[6]</sup>.在本文中,设置遗传算法的群体规模参数为 80.

### 2.2.2 目标函数的确定

为了获取满意的过渡过程动态特性,采用误差绝对值时间积分性能指标作为参数选择的最小目标函数,为了防止控制能量过大,在目标函数中又加入了控制输入的平方项,最后确定下式作为参数选取的最优指标:

$$J = \int_0^{\infty} (w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t)) dt + w_3 \cdot t_u,$$

式中, $e(t)$ 为系统误差, $u(t)$ 为控制器输出, $t_u$ 为上升时间, $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ 为权值.取  $w_1 = 0.999$ ,  $w_2 = 0.001$ ,  $w_3 = 2.0$ ,终止进化代数选为 200.

### 2.2.3 交叉概率和变异概率的选择

交叉概率( $P_c$ )控制着交叉操作使用的频率, $P_c$ 大则有利于遗传算子开辟新的搜索区域,但具有优良性能的基因串被破坏的可能性也同时增大; $P_c$ 太小,则会使更多的父体直接进入下一代,使遗传计算出现早熟.为了增强搜索能力并保持遗传基因的多样性,必须引入一定概率的变异操作,经过反复比较和运算,本文的交叉概率和变异概率( $P_m$ )分别为 0.9 和 0.008.

### 2.2.4 优化参数取值范围的初始设定<sup>[7]</sup>

根据经验和试验比较,比例系数  $K_p$  的取值范围为  $[0, 0.1]$ ,积分时间常数  $K_i$  的取值范围为  $[0, 0.01]$ ,微分时间常数  $K_d$  的取值范围为  $[0, 0.001]$ .使用遗传算法进行参数辨识的基本流程如图 3 所示.

使用仿真软件 Matlab 编程,实现上述基于遗传算法的 PID 参数辨识过程.

### 2.3 遗传算法的仿真结果

采用实数编码方式.经过 200 代进化,运行编写的遗传算法.m 程序,获得系统优化参数为  $K_p = 0.0355$ ,  $K_i = 0.00232$ ,  $K_d = 0.000218$ ,控制系统单位阶跃响应如图 4 所示.与传统的采用边界稳定法校正 PID 参数后系统的阶跃响应比较,采用遗传算法进行参数寻优后,控制系统超调量减小,震荡平稳,动态跟踪性能好,精度较高,不足的是快速性能较采用传统的边界稳定法进行参数寻优有所降低.

## 3 结束语

仿真结果表明,相对于采用传统方法进行 PID

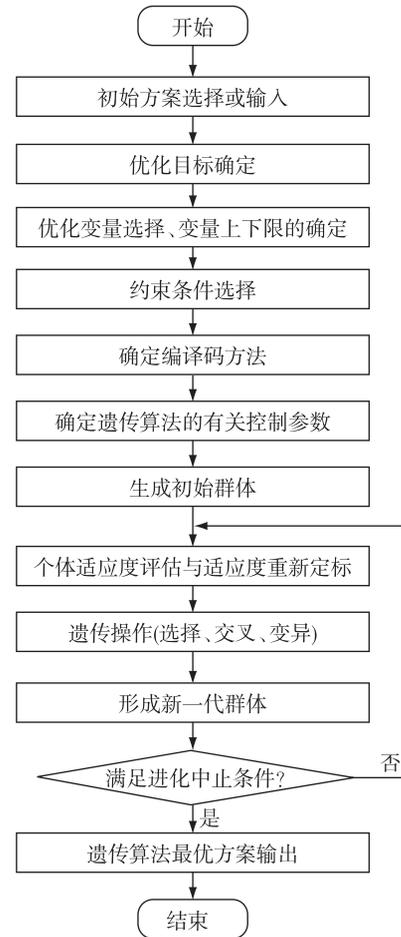


图 3 遗传算法参数辨识的程序流程

Fig.3 Flow chart of parameters identification by genetic algorithm

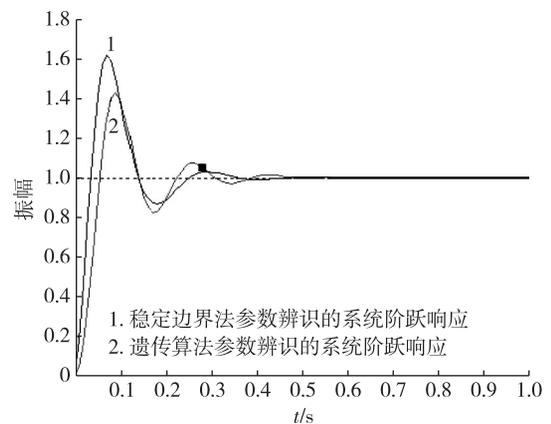


图 4 基于遗传算法的系统阶跃响应

Fig.4 Comparison of step responses between genetic algorithm and stable boundary method to identify the parameters

参数辨识的系统,基于遗传算法参数辨识的火焰切

割机自动调高系统跟随性好,系统响应快、精度高,鲁棒性好,系统的动静态品质得到了大大改善,但系统仍然存在一定的超调,因此,可在遗传算法中加入惩罚功能,减小或消除超调因子,进一步改善系统的动态性能。

## 参考文献

### References

- [ 1 ] 蒋翔俊,张优云,邹爱成,等.模糊控制在数控火焰切割机自动调高系统中的应用[J].制造技术与机床,2008(6):87-89  
JIANG Xiangjun, ZHANG Youyun, ZOU Aicheng, et al. Application of fuzzy control in automatic height adjustment system of CNC flame cutter[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2008(6): 87-89
- [ 2 ] 杨小东,董宸,卢文华,等.基于遗传算法的水轮发电机组调速系统参数辨识[J].继电器,2006,34(1):27-30  
YANG Xiaodong, DONG Chen, LU Wenhua, et al. Parameters identification for hydraulic turbine governing system based on genetic algorithm [J]. Relay, 2006, 34(1): 27-30
- [ 3 ] 宋凯云,刘燕妮,张鑫平.基于微电容的数控火焰切割机自动调高系统[J].机械设计与制造,2008(4):

153-155

SONG Kaiyun, LIU Yanni, ZHANG Xinping. An auto-adjusting high system of NC flame cutting machine based on the micro-capacitance[J]. Machinery Design & Manufacture, 2008(4): 153-155

- [ 4 ] 陈春丽.火焰切割机自动调高系统系统[D].武汉:武汉理工大学信息工程学院,2008:12,23

CHEN Chunli. The research on the automatic lifting system of flame cutter[D]. Wuhan: School of Information Engineering, Wuhan University of Technology, 2008: 12, 23

- [ 5 ] 刘金琨.先进PID控制Matlab仿真[M].北京:电子工业出版社,2004:210-246

LIU Jinkun. Matlab simulation on advanced PID control [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004: 210-246

- [ 6 ] 周东华.非线性系统的自适应控制导论[M].北京:清华大学出版社,2002:158

ZHOU Donghua. Introduction to adaptive control for non-linear system [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002: 158

- [ 7 ] 宋建萍.函数优化的遗传算法代码实现[J].软件导刊,2013,12(2):40-42

SONG Jianping. The code implementation on genetic algorithm of function optimization [J]. Software Guide, 2013, 12(2): 40-42

## Optimized design for PID adjuster in DC servo-motor with parameters identified by genetic algorithm

FENG Changqi<sup>1</sup> JIANG Pinli<sup>2</sup>

1 Electronic & Electrical Department, Wuhan Institute of Shipbuilding Technology, Wuhan 430050

2 Wuhan Tianlong Elevator Engineering Co.Ltd., Wuhan 430071

**Abstract** According to the characteristics and demands of automatic height adjusting system in numerical control (NC) flame cutting machine, we carry out global optimization and identification of proportion integration differentiation (PID) parameters for position adjuster, which can improve the precision and speed of DC servo system effectively. Compared with traditional stable boundary optimizing method, the genetic algorithm used in the optimization of PID parameters can improve the dynamic performance of automatic height adjusting system obviously and has strong robust performance.

**Key words** NC flame cutting machine; auto-adjusting height system; genetic algorithm; PID parameters identification; optimization