

开卷张力模糊控制器的局部遗传优化研究

何致远

(浙江科技学院 信息与电气工程系,浙江 杭州 310012)

摘 要: 基于模糊技术的开卷张力控制系统中,张力模糊控制器的设计往往依赖于专家的先验知识,为提高张力控制水平,控制器应按动态性能指标进行优化,其中隶属度函数的优化是控制器优化的核心问题之一.本文运用基于经验学习的遗传优化技术,对开卷张力模糊控制器隶属度函数的局部动态优化问题作了一些尝试性的研究.

关键词: 智能控制; 张力控制; 遗传优化; 交流电传动

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-7680(2002)01-0009-05

卷绕系统的张力控制是连续化工业生产过程中的一个关键问题.由交流异步电机驱动的卷绕张力系统是一个高阶、非线性、变参数的多变量复杂控制系统,有必要引进模糊控制方法.而张力模糊控制器在设计时,往往过于依赖专家的先验知识,其隶属度函数的确定与优化常常成为制约模糊控制器设计的瓶颈问题.近年来,国内外一些学者开始探讨在无先验知识或先验知识不完备的前提下,利用基于经验学习的遗传算法(GA)技术,根据适者生存、优胜劣汰的自然进化规则去设计和动态优化模糊系统.文献[1,2]表明,迄今为止基于GA的模糊控制器优化研究分为三类:(1)模糊控制器的语言控制规则一定,优化隶属度函数的参数;(2)语言变量的模糊子集形状一定,运用GA去寻找最优的模糊控制规则;(3)同时优化控制规则和隶属度函数的参数集,以获得高性能的模糊控制器.

遗传优化模糊控制器的研究起步不久,存在的问题也不少,其中最为主要的是如何设计适合于模糊控制器优化的编码方法及确定遗传算子的控制参数.作为一种尝试,本文的研究思想是利用GA对以模糊技术为核心的开卷张力控制器的高斯型输入隶属度函数进行动态优化,从而使开卷张力获得快响应、小超调、低静差的输出特性.

1 开卷张力的模糊控制与遗传优化

1.1 卷绕过程

一个典型的开卷系统工艺结构如图1所示.恒速主传动电机的转速为 n_1 ,线速度为 v_1 ;开卷电

收稿日期: 2001-09-20

基金项目: 浙江省教育厅计划科研资助项目(20000066)

作者简介: 何致远(1961-),男,浙江杭州人,浙江科技学院信息与电气工程系副教授,工学硕士,现主要从事电气传动智能控制方向的研究工作.

机的转速为 n_2 , 线速度为 v_2 . 在生产过程中, 要求线速度差 Δv 及张力 F 恒定. 系统运用一种可支持智能控制模块的 CT-Unidrive 变频器来驱动开卷异步电机^[3], 上位 PC 机通过 RS485 接口与变频器相连. 开卷机引入模糊控制策略, 整个开卷控制系统以智能变频器为核心构成双闭环结构, 其中电流内环为确定性 PI 控制, 构成张力广义对象, 张力外环则采用模糊控制方式.

1.2 开卷张力模糊控制器的局部遗传优化设计

基于遗传优化的开卷张力模糊控制系统结构见图 2. 模糊控制器采用二维输入结构, 取张力误差 e 及误差变化率 de/dt 为输入量, E 及 EC 分别对应为模糊化后的二维模糊输入量; U 为模糊控制器的输出, u 为其精确化输出量. 为了研究的方便和减少运算量, 将开卷张力模糊控制器作简化处理. 各输入输出模糊变量的隶属度函数均取为高斯型, 表达式为: $g(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-c}{\sigma})^2}$, 其中: c 为隶属度函数的中心点位置, σ 决定隶属度函数的宽度. 采用遗传优化算法对输入隶属度函数进行优化, 使控制系统的动态误差为最小.

算法编码采用二进制, 考虑到张力控制对抑制动态波动的要求, 为使二进制码链既有足够的精度, 又防止它过长, 把 E 、 EC 及 U 分别规范在 $[-2, 2]$ 、 $[-1, 1]$ 和 $[-3, 3]$ 内, 同时, E 和 EC 分别取 5 个和 3 个模糊子集, U 取 7 个模糊子集即:

$$E = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}; EC = \{N, Z, P\}; U = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$$

由开卷系统的张力控制经验获得 15 条模糊规则见表 1.

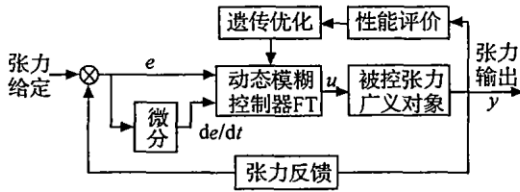


图 2 开卷控制系统与控制器结构框图

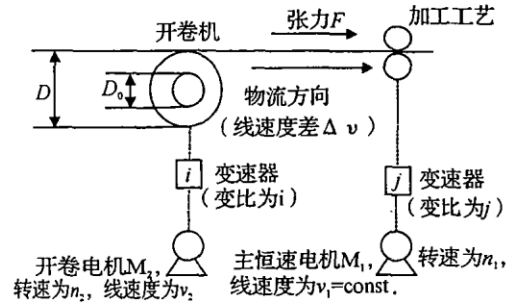


图 1 开卷工艺过程结构

表 1 开卷张力控制模糊规则 (U)

E	EC		
	N	Z	P
NB	PB	PB	ZE
NS	PM	PM	NS
ZE	PM	ZE	NM
PS	PS	NM	NM
PB	ZE	NB	NB

E 和 EC 的高斯型隶属度函数中共有 16 个控制参数需要调整. 为防止在遗传优化中参数出现较大的波动, 将 E 的 5 个模糊子集中心值的调整范围规范为: $[-2, -1.5]$, $[-1.5, -0.5]$, $[-0.5, 0.5]$, $[0.5, 1.5]$ 及 $[1.5, 2]$; 类似地, EC 的 3 个模糊子集中心值的调整范围规定为: $[-1, -0.5]$, $[-0.5, 0.5]$ 和 $[0.5, 1]$; 所有隶属度函数中 α 参数的调整范围均为 0.1 ~ 0.4. 各模糊子集隶属度函数的编码如下:

(1) 模糊集 E :

$$NB: C_{ENB} = -2 + P_0 \cdot 2^{-2} + P_1 \cdot 2^{-3} + P_2 \cdot 2^{-4} + P_3 \cdot 2^{-5} + P_4 \cdot 2^{-6} + P_5 \cdot 2^{-7}$$

$$\sigma_{ENB} = P_6 \cdot 2^{-2} + P_7 \cdot 2^{-3} + P_8 \cdot 2^{-4} + P_9 \cdot 2^{-5} + P_{10} \cdot 2^{-6} + P_{11} \cdot 2^{-7}$$

编码范围: $P_0 \sim P_5: 000000 \sim 111111$; $P_6 \sim P_{11}: 001100 \sim 110011$;

$$NS: C_{ENS} = -1 + P_{12} \cdot 2^{-2} + P_{13} \cdot 2^{-3} + P_{14} \cdot 2^{-4} + P_{15} \cdot 2^{-5} + P_{16} \cdot 2^{-6} + P_{17} \cdot 2^{-7}$$

$$- (P_{18} \cdot 2^{-2} + P_{19} \cdot 2^{-3} + P_{20} \cdot 2^{-4} + P_{21} \cdot 2^{-5} + P_{22} \cdot 2^{-6} + P_{23} \cdot 2^{-7})$$

$$\sigma_{ENS} = P_{24} \cdot 2^{-2} + P_{25} \cdot 2^{-3} + P_{26} \cdot 2^{-4} + P_{27} \cdot 2^{-5} + P_{28} \cdot 2^{-6} + P_{29} \cdot 2^{-7}$$

编码范围: $P_{12} \sim P_{17}: 000000 \sim 111111$; $P_{18} \sim P_{23}: 000000 \sim 111111$; $P_{24} \sim P_{29}: 001100 \sim 110011$;

$$ZE: C_{EZE} = P_{30} \cdot 2^{-2} + P_{31} \cdot 2^{-3} + P_{32} \cdot 2^{-4} + P_{33} \cdot 2^{-5} + P_{34} \cdot 2^{-6} + P_{35} \cdot 2^{-7} \\ - (P_{36} \cdot 2^{-2} + P_{37} \cdot 2^{-3} + P_{38} \cdot 2^{-4} + P_{39} \cdot 2^{-5} + P_{40} \cdot 2^{-6} + P_{41} \cdot 2^{-7})$$

$$\sigma_{EZE} = P_{42} \cdot 2^{-2} + P_{43} \cdot 2^{-3} + P_{44} \cdot 2^{-4} + P_{45} \cdot 2^{-5} + P_{46} \cdot 2^{-6} + P_{47} \cdot 2^{-7}$$

编码范围: $P_{30} \sim P_{35}: 000000 \sim 111111$; $P_{36} \sim P_{41}: 000000 \sim 111111$; $P_{42} \sim P_{47}: 001100 \sim 110011$;

$$PS: C_{EPS} = 1 + P_{48} \cdot 2^{-2} + P_{49} \cdot 2^{-3} + P_{50} \cdot 2^{-4} + P_{51} \cdot 2^{-5} + P_{52} \cdot 2^{-6} + P_{53} \cdot 2^{-7} \\ - (P_{54} \cdot 2^{-2} + P_{55} \cdot 2^{-3} + P_{56} \cdot 2^{-4} + P_{57} \cdot 2^{-5} + P_{58} \cdot 2^{-6} + P_{59} \cdot 2^{-7})$$

$$\sigma_{EPS} = P_{60} \cdot 2^{-2} + P_{61} \cdot 2^{-3} + P_{62} \cdot 2^{-4} + P_{63} \cdot 2^{-5} + P_{64} \cdot 2^{-6} + P_{65} \cdot 2^{-7}$$

编码范围: $P_{48} \sim P_{53}: 000000 \sim 111111$; $P_{54} \sim P_{59}: 000000 \sim 111111$; $P_{60} \sim P_{65}: 001100 \sim 110011$;

$$PB: C_{EPB} = 2 - (P_{66} \cdot 2^{-2} + P_{67} \cdot 2^{-3} + P_{68} \cdot 2^{-4} + P_{69} \cdot 2^{-5} + P_{70} \cdot 2^{-6} + P_{71} \cdot 2^{-7})$$

$$\sigma_{EPB} = P_{72} \cdot 2^{-2} + P_{73} \cdot 2^{-3} + P_{74} \cdot 2^{-4} + P_{75} \cdot 2^{-5} + P_{76} \cdot 2^{-6} + P_{77} \cdot 2^{-7}$$

编码范围: $P_{66} \sim P_{71}: 000000 \sim 111111$; $P_{72} \sim P_{77}: 001100 \sim 110011$;

(2) 模糊集 EC

$$N: C_{ECN} = -1 + (P_{78} \cdot 2^{-2} + P_{79} \cdot 2^{-3} + P_{80} \cdot 2^{-4} + P_{81} \cdot 2^{-5} + P_{82} \cdot 2^{-6} + P_{83} \cdot 2^{-7})$$

$$\sigma_{EPB} = P_{84} \cdot 2^{-2} + P_{85} \cdot 2^{-3} + P_{86} \cdot 2^{-4} + P_{87} \cdot 2^{-5} + P_{88} \cdot 2^{-6} + P_{89} \cdot 2^{-7}$$

编码范围: $P_{78} \sim P_{83}: 000000 \sim 111111$; $P_{84} \sim P_{89}: 001100 \sim 110011$;

$$Z: C_{ECZ} = P_{90} \cdot 2^{-2} + P_{91} \cdot 2^{-3} + P_{92} \cdot 2^{-4} + P_{93} \cdot 2^{-5} + P_{94} \cdot 2^{-6} + P_{95} \cdot 2^{-7} \\ - (P_{96} \cdot 2^{-2} + P_{97} \cdot 2^{-3} + P_{98} \cdot 2^{-4} + P_{99} \cdot 2^{-5} + P_{100} \cdot 2^{-6} + P_{101} \cdot 2^{-7})$$

$$\sigma_{ECZ} = P_{102} \cdot 2^{-2} + P_{103} \cdot 2^{-3} + P_{104} \cdot 2^{-4} + P_{105} \cdot 2^{-5} + P_{106} \cdot 2^{-6} + P_{107} \cdot 2^{-7}$$

编码范围: $P_{90} \sim P_{95}: 000000 \sim 111111$; $P_{96} \sim P_{101}: 000000 \sim 111111$; $P_{102} \sim P_{107}: 001100 \sim 110011$;

$$P: C_{ECP} = 1 - (P_{108} \cdot 2^{-2} + P_{109} \cdot 2^{-3} + P_{110} \cdot 2^{-4} + P_{111} \cdot 2^{-5} + P_{112} \cdot 2^{-6} + P_{113} \cdot 2^{-7})$$

$$\sigma_{ECP} = P_{114} \cdot 2^{-2} + P_{115} \cdot 2^{-3} + P_{116} \cdot 2^{-4} + P_{117} \cdot 2^{-5} + P_{118} \cdot 2^{-6} + P_{119} \cdot 2^{-7}$$

编码范围: $P_{108} \sim P_{113}: 000000 \sim 111111$; $P_{114} \sim P_{119}: 000000 \sim 110011$;

由此可得染色体长度 l 为 120 个基因. 选取如下 2 次型性能指标:

$$J = \sum_{i=k}^{k+L} \left[\frac{1}{2} e^T(i) e(i) \right]$$

其中: k 为误差信号采样序列号; L 为每代群体的作用长度. 要求张力输出的动态误差最小, 即使 J 极小, 则遗传算法的适应度函数可取为:

$$F_i = 1/(1 + J_i)$$

并将之规范化得选择概率: $\bar{F}_i = F_i / \sum_{i=1}^N F_i$.

2 仿真研究

由上述遗传编码及适应度函数, 对图 2 所示的开卷张力模糊控制器 FT 进行输入隶属度函数的优化. 优化前的初始隶属度函数形态如图 3 ~ 图 5 所示, 模糊集 E 中各模糊子集的 $[c, \sigma]$ 参数对为 NB 模糊子集 $[-2, 0.3]$; NS 模糊子集 $[-1, 0.3]$; ZE 模糊子集 $[0, 0.3]$; PS 模糊子集 $[1, 0.3]$; PB 模糊子集 $[2, 0.3]$. 模糊集 EC 中: N 模糊子集 $[-1, 0.3]$; Z 模糊子集 $[0, 0.4]$; P 模糊子集 $[1, 0.3]$. 仿

真时取:种群数 $N = 50$ 个染色体;交换概率 $p_c = 0.6$,染色体串按编码基因段含义相应交换;变异概率 $p_m = 0.05$.

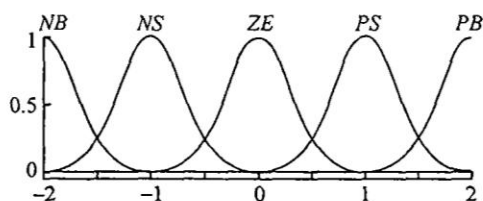


图3 优化前模糊集 E 的隶属度

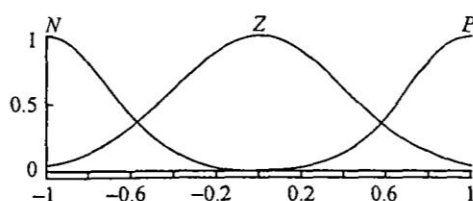


图4 优化前模糊集 EC 的隶属度

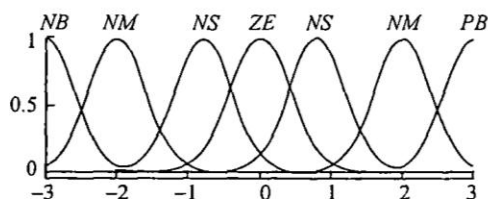


图5 模糊集 U 的隶属度

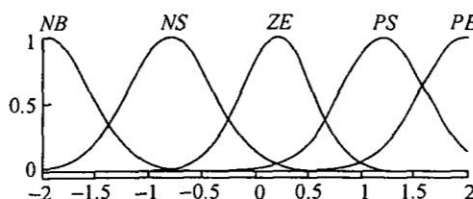


图6 优化后模糊集 E 的隶属度

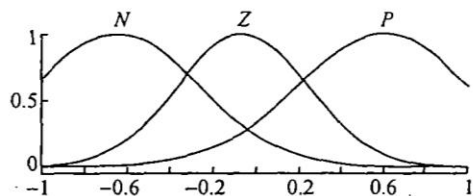


图7 优化后模糊集 EC 的隶属度

采用 MATLAB 语言工具对图 2 所示系统进行仿真,仿真程序设计流程见图 8. 张力仿真对象的数学模型与简化详见参考文献[3,4]. 经遗传优化后的模糊集 E 及 EC 的隶属度函数形态如图 6 及图 7 所示. 优化后模糊集 E 的各子集隶属度函数参数对为:NB 为 $[-1.95, 0.4]$; NS 为 $[-0.8, 0.4]$; ZE 为 $[0.2, 0.33]$; PS 为 $[1.2, 0.4]$; PB 为 $[1.96, 0.4]$.

EC 的各子集隶属度函数参数对为:N 为 $[-0.65, 0.38]$; Z 为 $[-0.06, 0.3]$; P 为 $[0.6, 0.4]$.

经遗传局部优化后的开卷张力模糊控制器应用于图 1 所示以无纺布为实验卷材的开卷系统,得到开卷张力阶跃响应 2 s 仿真曲线见图 9.

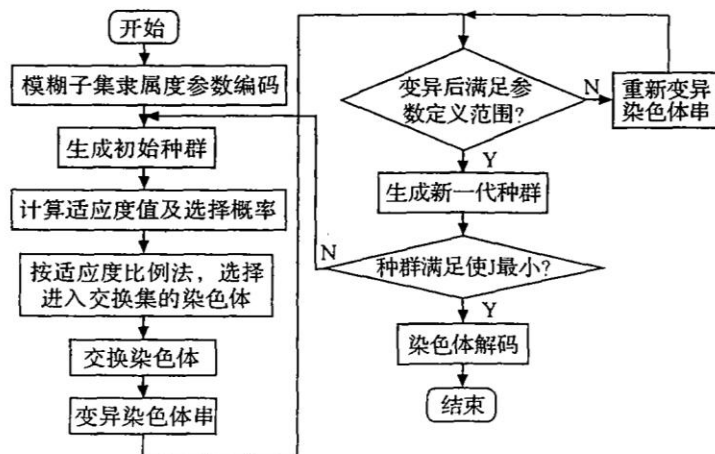


图8 张力模糊控制器遗传算法流程图

3 结 论

上述研究可以看出,运用遗传算法来优化开卷张力模糊控制器的输入隶属度函数,从而使开卷

张力输出动态误差达到最小的这种思想是正确的.图9所示的响应曲线进一步表明,采用本文给出的优化设计方法是切实可行的.

特别指出,由于模糊张力控制器的各个输入隶属度函数的表达涉及到多个参数,因而本文中采用所谓的“连接多参数映射的定点编码法”,将已编码的各个待优化参数整体线性地映射为二进制染色体串的各区间段,遗传操作按段进行,这样便于控制决策变量的范围和精度.

同时需要指出,上述优化过程是在保持控制器的输出模糊集 U 隶属度不变的条件下进行的.因而只是一种对模糊张力控制器隶属度函数的局部优化,若 U 的隶属度函数也一起优化,则染色体长度需增加,遗传计算过程也将更为复杂,但预期的优化效果会更佳,张力响应过程的动态误差可更加小些.进一步分析还可看出,本文中采用固定待优化参数变化区间的方法对保证遗传操作的收敛性以及控制参数不出现较大的跳跃式波动无疑是有益的,但也限制了参数的寻优范围.

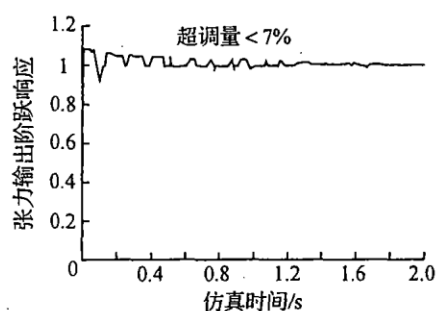


图9 遗传局部优化后的开卷张力阶跃响应输出

参考文献:

- [1] 席裕庚,柴天佑,恽为民.遗传算法综述[J].控制理论与应用,1996,13(6):697-708.
- [2] 王晶,李玉兰,蔡自兴,等.基于遗传算法的模糊系统优化设计方法[J].控制理论与应用,1999,16(3):699-704.
- [3] 何致远.卷绕系统的智能张力控制器与优化策略研究[D].杭州:浙江大学电气工程学院,2000.
- [4] 何致远.基于模糊控制的织物交流开卷张力控制器设计[J].浙江工程学院学报,2000,17(1):33-36.

Research of partial genetic optimization for the fuzzy controller of open-winding tension

HE Zhi-yuan

(Dept. of Information & Electrical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310012, China)

Abstract: In the open-winding control systems based on fuzzy technology, the design of tension fuzzy controller usually depends on the experience of experts. In order to raise tension control level, the fuzzy controller should be optimized according to the dynamic targets and the optimization of the membership functions is one of the sticking points. This thesis tried to study the way to partially optimize the tension fuzzy controller of open-winding systems founded upon the experiential learning of genetic algorithm technology.

Key words: intelligent control; tension control; genetic optimization; AC drive