

基于改进遗传算法的发电机调速器侧模糊 PSS优化设计

王明东¹,刘宪林²,于继来¹

(1. 哈尔滨工业大学电气工程系,黑龙江 哈尔滨 150001; 2 郑州大学电气工程学院,河南 郑州 450002)

摘要: 基于模糊控制理论设计了发电机组调速器侧模糊电力系统稳定器,采用遗传算法优化其参数以克服模糊控制器参数设计的主观性。为了提高多参数控制器参数优化的速度和精度,对传统单点交叉遗传算法进行改进,提出了一种首尾轮换交叉遗传算法。该方法交替采用尾部和头部单点交叉,保证了各参数参与优化的概率基本均等。采用该算法对某水轮发电机组调速器侧模糊电力系统稳定器的参数进行优化计算,表明其优化速度和精度较试探法和传统单点交叉遗传算法有显著提高。

关键词: 遗传算法; 交叉算子; 模糊控制; 电力系统稳定器

中图分类号: TM712; TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)13-0025-04

0 引言

随着大型水电机组和快速励磁系统的不断投运以及超高压远距离输电线路的不断增长,电力系统的稳定问题也更加突出起来。电力系统稳定器(PSS)是最常用的提高稳定性的简单而有效的措施。在发电机组调速器侧装设的PSS(称GPSS)只影响本机的原动机力矩,具有多机解耦特性,不像目前广为采用的励磁侧PSS那样存在安装地点选择和参数协调问题,因此逐渐得到人们的关注^[1~3]。文献[4]基于模糊控制理论设计了水轮发电机组模糊GPSS(FGPSS),仿真对比研究表明,该FGPSS具有较强的鲁棒性,对于改善电力系统的稳定性具有良好的作用。

在模糊控制器的设计过程中,由于设计者的专家知识、实践经验和判断能力不尽相同,往往给模糊控制器的参数设计带来了一定的主观性。为了找到一组合适的参数,常采用试探法(Error-and-Trial)进行大量的计算,这不仅非常费时,而且其结果也不一定最优。遗传算法GA(Genetic Algorithm)是一种建立在自然选择原理和生物遗传机制上的迭代式自适应随机搜索寻优方法,它采用群体寻优方式,且不要求目标函数连续可微,因此在控制器参数优化方面已经得到了广泛的应用^[5~7]。但是,GA也存在早熟和收敛速度问题,这些缺点影响了它的进一步推广应用。对此已提出了各种改进方法,如自调整交叉、变异概率和适应度函数^[8],改进交叉算子^[9]等。虽然这些方法都可以提高收敛速度,但也不同程度地存在算法复杂的问题,不适于工程应用。交叉算子是GA的一个重要算子,操作方式有单点交叉、多

点交叉、均匀交叉等。由于单点交叉操作简单、易于实现,工程上最为常用。但当采用这种方法对具有多个参数的控制器进行参数优化时,由于各参数被优化的概率不均等而会导致搜索速度和精度不足。针对此问题,提出了一种改进的单点交叉方法——首尾轮换交叉法。该方法不仅继承了传统单点交叉方法的优点,而且优化速度和精度都比传统方法有了较大提高。本文采用基于这种交叉方法的改进GA对某水轮发电机组FGPSS的参数进行优化,表明其较Error-and-Trial法和传统GA搜索速度和精度都有显著提高。

1 FGPSS的设计

文献[4]设计的FGPSS采用如图1所示的单变量二维输入单输出结构,输入信号为机组的转速误差及其导数。先将转速误差及其导数模糊化,再经模糊推理得到模糊输出量,最后对模糊输出量清晰化,得到实际的输出控制量作为PD型调速器的附加控制信号。

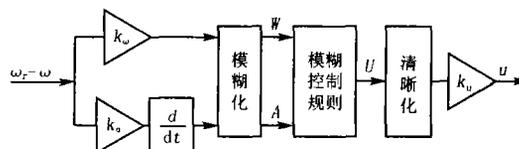


图1 模糊 GPSS的结构

Fig 1 Construction of fuzzy GPSS

转速误差及其导数的量化论域均设定为[-6, 6],输出量u的量化论域设定为[-1, 1]。转速误差模糊量W的模糊集为{NB, NM, NS, NZ, PZ, PS, PM, PB},误差导数模糊量A的模糊集为{NB, NS, ZO,

PS, PB }, 模糊输出量 U 的模糊集为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。其中的 P, N, B, M, S 和 $Z(ZO)$ 分别表示正、负、大、中、小和零。为了简便地实现系统的实时控制,输入输出量的隶属函数均选用三角形隶属函数。模糊推理和清晰化分别采用 Mamdani 合成法和区域重心法。FGPSS 的模糊控制规则根据机组调速要求和操作人员的经验制定,如表 1 所示。

表 1 模糊控制规则

Tab 1 Fuzzy control rules

W	A				
	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NS
NM	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	NM	NM	NS	ZO	ZO
NZ	NM	NS	ZO	ZO	PS
PZ	NS	ZO	ZO	PS	PM
PS	ZO	ZO	PS	PM	PM
PM	ZO	PS	PM	PM	PB
PB	PS	PM	PB	PB	PB

图 1 中的 k, k 为输入量从实际变化范围到模糊值变换的量化因子, k_u 为输出量从模糊值到精确值变换的比例因子。 k, k 和 k_u 这三个参数对于 FGPSS 的性能影响很大,需进行优化。

2 首尾轮换交叉 GA

GA 是控制器参数优化常用的一种方法,它模

表 2 多参数优化示例

Tab 2 An example of multi-parameter optimizing

		k_1						k_2						k_3					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	父代个体 1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0
	父代个体 2	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
尾部交叉	子代个体 1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1
	子代个体 2	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0
头部交叉	子代个体 1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0
	子代个体 2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1

可见,采用传统的单点交叉法进行多参数优化,各个参数被优化的概率不均等,这将对优化的速度和精度产生不利影响。为了解决这个问题,在传统单点交叉法的基础上,本文提出了一种首尾轮换单点交叉法。这种方法的基本思想是:当遗传代数为奇数时,采用尾部单点交叉,而当遗传代数为偶数时,则采用头部单点交叉,以保证在整个优化过程中,各个参数被优化的概率基本均等,从而提高优化的速度。对表 2 示例而言,若采用这种首尾轮换单点交叉法,可使 k_1, k_2 和 k_3 三个参数被优化的概率基本均等。

拟生物界自然选择、优胜劣汰、适者生存、遗传变异的机理进行多点群体寻优,能以较大的概率得到全局最优解,且不要求目标函数连续、可微,可方便地用于非线性问题优化。在 GA 优化控制器参数的过程中,交叉是一个重要的遗传操作,它是 GA 获得新的优良个体的最重要的手段。GA 的个体常采用二进制方式对个体进行编码,即用一定长度的 0、1 二进制字符串表示某个个体。在二进制编码方式下一般采用单点交叉方法进行交叉操作,传统的单点交叉是在表示个体的二进制字符串中随机选择一个交叉点,只互换该点之前(头部单点交叉)或之后(尾部单点交叉)的元素。这两种单点交叉方法操作简单,易于实现。但对于多参数优化问题,它们存在一定的缺点。以表 2 示例进行说明。该例以 k_1, k_2 和 k_3 三个参数为优化对象。每个参数都采用 6 位二进制数编码,并用它们串接而成的 18 位二进制字符串表示个体。对于传统的尾部单点交叉法,每次交叉后, k_3 必然发生改变,而 k_2 改变的率小于 k_3, k_1 的则更小。同理,如果采用头部单点交叉法,每次交叉后, k_1 必然发生改变, k_2 改变的率次之, k_3 的最小。交叉点是随机产生的,为了说明问题,在表 2 中,尾部交叉点选在第 14 位,头部交叉点在第 8 位,交叉前后不同部分用粗体数字示出。

3 基于首尾轮换交叉 GA 的发电机组 FGPSS 参数优化

采用基于首尾轮换交叉法的改进 GA 对一水轮发电机组-无穷大容量系统 FGPSS 的三个参数 k, k 和 k_u 进行优化(算例参数见附录)。以机组转速为被控制量,选择其误差绝对值与时间乘积的积分(IIAE)作为评价函数(其倒数即为适应度),取种群规模为 20,交叉概率为 0.6,变异概率为 0.05。利用 Matlab 语言编制计算程序,按下述步骤进行优化:(1)随机产生一个初始二进制群体;(2)对每个

个体用评价函数进行评价; (3)采用轮盘赌方法进行选择,将适应度最低的个体予以淘汰,而将适应度最高的个体进行复制以维持个体数目的恒定; (4)采用首尾轮换单点交叉法进行交叉操作; (5)采用随机位变异法进行变异操作。

经过上述过程,可产生一个子代种群。对子代重复进行步骤(2)~(5),使群体的适应度不断提高,直到满足终止条件。终止条件可以采用给定的遗传代数,也可以采用给定的 IIAE 指标。本文将二者结合作为终止条件:如果在给定遗传代数内达到了给定的 IIAE 指标,则结束迭代;如果在给定遗传代数内未达到给定的 IIAE 指标,则将给定的遗传代数作为迭代结束的标准,把最好的个体作为最终结果。

作为比较,同时还采用传统的尾部单点交叉 GA 进行算例参数优化。优化结果如表 3 所示。

表 3 FGPSS 参数优化结果

Tab 3 Optimum parameters of FGPSS

	k	k	k_p	IIAE 值	遗传代数
Error - and - Trial法	93	19	3.6	0.148 4	—
尾部单点交叉 GA	123.7	5.42	11.13	0.136 4	13代
首尾轮换交叉 GA	151.5	5	9.35	0.136 4	10代

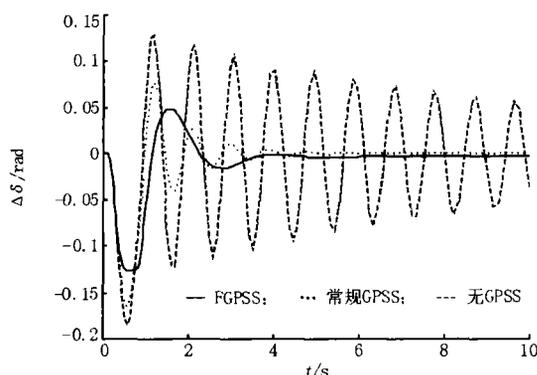


图 2 功角增量仿真曲线

Fig 2 Simulation curves of power angle

由表 3 可见,采用 Error - and - Trial 法得到一组较好的参数(对应的 IIAE 为 0.148 4)由于需要进行反复试验,所需时间较长。若采用传统交叉 GA,得到一组 IIAE 指标优于 Error - and - Trial 法的参数(对应的 IIAE 为 0.136 4)所需要的遗传代数仅为 13 代。而采用首尾轮换交叉 GA,只需 10 代遗传即可得到一组 IIAE 指标与传统 GA 相同的参数,优化速度比前者提高了 20% 多。采用经改进 GA 优化的参数对 FGPSS 的控制效果进行仿真(扰动大小:0.1 pu,持续时间:0.1 s ~ 0.8 s),结果如图 2 所示。显然,FGPSS 可以较好地改善电力系统的

稳定性。

对于本例的参数优化问题,由于待优化参数较少、搜索精度要求较低(即 IIAE 值较大),采用首尾轮换交叉 GA 的优势并不十分明显。显然,当优化参数较多、搜索精度较高时,采用这种改进 GA 将会大大地提高优化速度。此外,不难理解,在遗传代数相同的条件下,与尾部单点交叉 GA 比较,首尾轮换交叉 GA 将会获得更高的优化指标。

4 结论

本文基于模糊控制理论设计了发电机组 FGPSS,采用 GA 优化 FGPSS 的参数以克服模糊控制器参数设计的主观性。为了提高多参数 FGPSS 参数优化的速度和精度,对传统单点交叉 GA 进行改进,提出了一种首尾轮换交叉 GA。该算法的基本思想是:当遗传代数为奇数时,采用尾部单点交叉;当遗传代数为偶数时,采用头部单点交叉。这种改进 GA 可使控制器各个参数被优化的概率基本均等,从而提高优化的速度和精度。采用该算法对一水轮发电机组 - 无穷大容量系统 FGPSS 的三个参数进行优化计算,取得了满意的效果。

附录:水轮发电机组 - 无穷大容量系统参数

水力系统:水流惯性时间常数 $T_w = 2$ s 水击波反射时间常数 $T_r = 0.4$ s 工作水头 $H = 30.5$ m;

接力器:时间常数 $T_s = 5$ s

PD 型调速器:比例系数 $k_p = 10$,积分系数 $k_i = 1.5$,微分系数 $k_d = 0.1$;

发电机:阻尼系数 $D = 1$,惯性时间常数 $T_j = 7.44$ s 额定转速 $n_N = 314$ rad/s 直轴同步电抗 $x_d = 0.973$ pu,交轴同步电抗 $x_q = 0.55$ pu,直轴暂态电抗 $x_d' = 0.19$ pu,励磁绕组时间常数 $T_{d0} = 7.76$ s

励磁系统:励磁系统增益 $k_e = 10$,励磁系统时间常数 $T_e = 0.05$ s

外电抗: $x_c = 0.5$ pu

参考文献:

- [1] 郝玉山,王海风,韩祯祥,等. 电力系统稳定器实现于调速系统之研究,第一部分:可行性分析 [J]. 电力系统自动化, 1992, 16(5): 36-40
HAO Yu-shan, WANG Hai-feng, HAN Zhen-xiang, et al. Study of Governor Power System Stabilizer, Part I Analysis of Practicability [J]. Automation of Electric Power Systems, 1992, 16(5): 36-40.
- [2] 郝玉山,王海风,韩祯祥,等. 电力系统稳定器实现于

- 调速系统之研究,第二部分:多机系统中特性分析[J]. 电力系统自动化, 1993, 17(3): 26-32
- HAO Yu-shan, WANG Hai-feng, HAN Zhen-xiang, et al Study of Governor Power System Stabilizer, Part II Analysis of Character in Multi-Machine System [J]. Automation of Electric Power Systems, 1993, 17(3): 26-32
- [3] 董清,高曙,侯子利,等. 利用功角和转速的非线性最优调速附加控制提高汽轮发电机静态和暂态稳定性的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(2): 46-49.
- DONG Qing, GAO Shu, HOU Zi-li, et al Nonlinear Optimal Governor Additional Control for Improving Static Stability and Transient Stability of Turbo-Generator by Using Feedback of Power Angle and Rotator Speed [J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(2): 46-49.
- [4] 王明东,刘宪林. 水轮发电机组调速器侧模糊电力系统稳定器研究[J]. 继电器, 2003, 31(12): 34-36
- WANG Ming-dong, LU Xian-lin Research on Fuzzy Power System Stabilizer for Hydro-generator's Governor [J]. Relay, 2003, 31(12): 34-36
- [5] Abido M A, AbdelMagid Y L. Hybridizing Rule-Based Power System Stabilizers with Genetical Algorithm [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14(2): 600-607.
- [6] Saleh R A F, Bolton U R. Genetic Algorithm-Aided Design of a Fuzzy Logic Stabilizer for a Superconducting Generator[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(4): 1329-1335.
- [7] WEN Jin-yu, CHENG Shi-jie, Malik O P. A Synchronous Generator Fuzzy Excitation Controller Optimally Designed with a Genetic Algorithm [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(3): 884-889.
- [8] CU I Ping-yuan, YANG Guo-jun Manipulator Neural Network Control Based on Fuzzy Genetic Algorithm [J]. High Technology Letters, 2001, 7(1): 63-66
- [9] 钟国坤,曾碧,余永权. 基于异位交叉的遗传算法的研究[J]. 控制与决策, 2003, 17(3): 26-32
- ZHONG Guo-kun, ZENG Bi, YU Yong-quan Study of Genetic Algorithms Based on Different Location Crossover [J]. Control and Decision, 2003, 17(3): 26-32

收稿日期: 2005-12-08; 修回日期: 2006-01-11

作者简介:

王明东(1971-),男,讲师,博士研究生,研究方向为电力系统稳定分析与控制; E-mail: wangmingdong@zzu.edu.cn;

刘宪林(1955-),男,博士,教授,主要从事电力系统分析、控制及仿真方面的教学和科研工作;

于继来(1965-),男,博士,教授,博士研究生导师,主要从事电力系统分析与控制方面的研究工作。

Optimization design of fuzzy PSS for governor of generator based on an improved GA

WANG Ming-dong¹, LU Xian-lin², YU Ji-lai¹

(1. Department of Electrical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A fuzzy governor power system stabilizer(FGPSS) is designed for a generator based on the fuzzy control theory and its parameters are optimized by using Genetic Algorithm (GA) to overcome the subjectivity in designing fuzzy controller's parameters. In order to raise the speed and accuracy, the conventional single-point crossover GA is improved and a new GA named Head-and-Tail Alternate Crossover GA is proposed. The head-crossover and tail-crossover is used alternately in the algorithm, which ensures that the optimized probability of every parameter is approximately equal. The parameters of FGPSS for a hydro-generator unit are optimized using the algorithm and the result indicates that the algorithm is more quickly and precisely than Error-and-Trial method and conventional GA.

Key words: GA; crossover operator; fuzzy control; PSS

(上接第 16 页 continued from page 16)

王星华(1972-),男,讲师,从事信息化电力系统相关

理论及支撑软件技术的研究。

Application of ActiveX Scripting technology in the self-defined relay device coordination system

TU Liang, SHI Dong-yuan, WANG Xing-hua

(College of Electronic and Electric Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper studies ActiveX Scripting technology and its application in the relay device coordination system. The design of self-defining the principle of coordination is emphasized and it radically implements the self-defining of relay device coordination. It makes the system more flexible, more extensible, and more reusable.

Key words: ActiveX Scripting; self-defined; relay device; coordination