

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 200331036

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

进化规划模糊算法研究与应用

Research & Application of Fuzzy Algorithm Based on
Evolutionary Programming

曾 俊 杰

指导教师姓名: 李 茂 青 教授

刘 瞰 东 讲师

专业名称: 系 统 工 程

论文提交日期: 2006 年 7 月

论文答辩日期: 2006 年 8 月

学位授予日期: 2006 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2006 年 8 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密（ ）（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

模糊控制器的设计不需要建立精确的数学模型，具有很好的鲁棒性，但是模糊控制器的设计中存在两个瓶颈问题：模糊变量隶属函数的确定和模糊规则的合理选取。进化规划避开了问题的数学复杂性，具有强大的数据挖掘能力，求解问题所需的信息比传统优化方法要少的多，并且更容易得到全局最优解。将两者结合能起到取长补短、各显优势的效果。本文主要是用进化算法来解决与模糊系统相关的优化模糊集合的隶属函数或模糊规则，并将该算法应用于 T-S 模糊模型辨识和 PID 参数自调整控制中。

论文的主要内容可概括如下：

1. 为解决非线性系统模型难以建立这一问题，本文采用建立系统模糊模型的方法，将三阶结构式的进化规划用于 T-S 模糊模型的辨识，直接确定 T-S 模糊模型的结构和参数。

2. 针对非线性控制系统难以控制的问题，本文采用基于进化规划的 PID 参数自调整控制方案，利用进化规划对 PID 参数的模糊规则基自动寻优，根据对象本身的响应特性调整控制器的参数，与传统的 PID 控制不同的是 PID 参数部分采用语言模糊模型，而不采用固定参数，为解决非线性系统控制提供了一种新思路。

3. 根据锅炉燃烧系统复杂、干扰频繁、全局模型建立困难且又具有非线性，时滞特性等实际情况，通过对主蒸汽压力的特性及控制策略分析，提出一种双层进化规划模糊算法，并应用于燃烧串级控制中。仿真表明采用本算法的控制器能够有效克服锅炉燃烧率内扰的影响，改善了机组负荷的跟踪性能，提高了机组运行的经济性。

关键词：进化规划；模糊控制；非线性系统

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

Without building the exact math model, the design of the fuzzy controller has a nice robustness. But in designing a fuzzy model and a fuzzy controller, we encounter a major difficulty in the identification of an optimized fuzzy rule base, which is traditionally achieved by a tedious trial and error process. The thesis presents an approach to automatic design of optimal fuzzy rule bases for modeling and control using evolutionary programming. To check the effectiveness of the suggested approach, three examples for modeling and control are examined. The main contents are concluded as follows:

1. In order to overcome the difficulties of creating model of nonlinear system, the paper adopts the approach to build Fuzzy model and use three layer structure evolution programming to identify T-S fuzzy model, this algorithm can optimize the structure and parameter of the T-S fuzzy model directly.

2. In view of the difficulties to controlling nonlinear system, the paper presents an approach to automatic design of optimal fuzzy rules for PID parameter using improved evolutionary programming. Compared with the traditional PID control algorithm, the PID parameter adjustment scheme adopts linguistic fuzzy rules instead of using fixed parameter. It provides a new way for controlling nonlinear system.

3. Owing to the practical facts including mechanism complex, frequent disturbance, establishing model hardly, nonlinear and so on, double layer evolution programming and fuzzy algorithm is presented to apply in combusting control. The simulation result in the main steam pressure control shows that the proposed method can improve the efficiency of the units and get over the impact of inner and outer disturbing.

Key works: Evolutionary Programming; Fuzzy Control; Nonlinear System

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 进化规划的发展历程	2
1.3 进化规划模糊系统简介	3
1.3.1 进化算法与模糊逻辑的结合	3
1.3.2 进化规划模糊系统	4
1.4 本文的主要研究内容与结构安排	5
第二章 模糊逻辑及进化规划理论	7
2.1 模糊逻辑理论	7
2.1.1 模糊集合理论及模糊规则	7
2.1.2 模糊推理技术	9
2.2 进化规划理论	10
2.2.1 进化规划算法的基本构成及工作流程	10
2.2.2 标准进化规划的步骤	13
2.2.3 进化规划的收敛性分析	14
2.3 小结	15
第三章 进化规划在模糊模型辨识中的应用	16
3.1 引言	16
3.2 Takagi-Sugeno 模糊模型的数学描述	17
3.3 T-S 模糊模型的一般辨识算法	19
3.4 改进的进化规划算法应用于 T-S 模糊模型的辨识	20
3.4.1 引言	20
3.4.2 三阶结构式染色体设计	20
3.4.3 三阶进化规划算法设计	21
3.4.4 仿真	24

3.5 小结	26
第四章 进化规划模糊算法在 PID 控制中的应用	27
4.1 引言	27
4.2 常规 PID 控制及参数整定方法简介	27
4.3 基于模糊规则的 PID 参数自校正控制原理	29
4.4 语言模糊模型原理	31
4.5 改进的进化规划实现过程	32
4.6 系统仿真实验	33
4.6.1 非线性系统仿真.....	33
4.6.2 时滞系统的仿真.....	34
4.7 小结	36
第五章 基于进化规划模糊算法的传统燃烧控制系统优化设计.....	37
5.1 引言	37
5.2 燃煤锅炉燃烧控制系统研究现状	38
5.2.1 燃煤锅炉燃烧控制系统工艺及主要任务.....	38
5.2.2 主蒸汽压力调节系统.....	39
5.3 主汽压控制系统仿真对象	41
5.4 基于进化规划模糊算法的燃烧控制系统优化设计	42
5.4.1 对于多目标寻优的两层进化规划模糊算法的提出.....	43
5.4.2 算法设计.....	43
5.4.3 仿真结果及分析	44
5.5 小结	48
第六章 总结	49
参考文献.....	51
攻读硕士学位期间公开发表的论文	55
致 谢.....	56

Contents

Chapter1 Introduction	1
1.1 Research Background	1
1.2 Development of the Evolution Programming.....	2
1.3 Evolutionary Programming Fuzzy System Introduction.....	3
1.3.1 Combination of Evolutionary Programming & Fuzzy Logic	3
1.3.2 Evolutionary Programming Fuzzy System	4
1.4 Framework	5
Chapter2 Fuzzy Logic & Evolutionary Programming Theories	7
2.1 Fuzzy Logic Theory	7
2.1.1 Fuzzy Set Theory & Fuzzy Rule.....	7
2.1.2 Fuzzy Reasoning.....	9
2.2 Evolutionary Programming Theory	10
2.2.1 Basic Structure & Working Process of Evolutionary Programming	10
2.2.2 Steps of Standard Evolutionary Programming.....	13
2.2.3 Constrigent Analyzing of Evolutionary Programming	14
2.3 Brief Summary.....	15
Chapter3 The Application of Evolutionary Programming in Fuzzy Model Identification.....	16
3.1 Introduction.....	16
3.2 The Math Description of T-S Fuzzy Model.....	17
3.3 The General Identification Based on T-S Fuzzy Model.....	19
3.4 The Application of Improved EP in T-S Fuzzy Model Identification...20	
3.4.1 Introduction.....	20
3.4.2 Three Layer Chromosome Designing.....	20
3.4.3 Three Layer Evolutionary Programming Algorithm Designing	21
3.4.4 Simulation.....	24
3.5 Brief Summary.....	26

Chapter4	The Application of Evolutionary Programming & Fuzzy Algorithm in PID Control	27
4.1	Introduction.....	27
4.2	Brief Introduction of General PID Control & Parameter Optimize	27
4.3	Principles of PID Parameter Self-emendation Control Base on Fuzzy Rules	29
4.4	Principles of Language Fuzzy Model.....	31
4.5	Implement Process of Improved Evolutionary Programming	32
4.6	System Simulation Experiment	33
4.6.1	Non-linearity System Simulation.....	33
4.6.2	Time Delay System Simulation	34
4.7	Brief Summary	36
Chapter5	Optimize Designing of Traditional Combustion Control System Based on Evolutionary Programming	37
5.1	Introduction.....	37
5.2	Research Overview of Boiler Combustion Control System.....	38
5.2.1	Technics & Mostly Task of Boiler Combustion Control System	38
5.2.2	Main Steam Control System	39
5.3	Simulation Object of Main Steam Control System	41
5.4	Optimize Designing of Traditional Combustion Control System Based on Evolutionary Programming.....	42
5.4.1	Advanced of Doubled Layers Evolutionary Programming & Fuzzy Algorithm.....	43
5.4.2	Algorithm Designing	43
5.4.3	Simulation Result & Analyzing	44
5.5	Brief Summary	48
Chapter6	Summary	49
References		51
Acknowledgement		56

第一章 绪论

1.1 研究背景

自从仪表取代人工成为工业锅炉的控制核心以来^[1]，PID 控制一直是仪表过程控制系统中应用最为广泛的一种控制规律。由于 PID 技术发展得比较成熟，在计算机锅炉控制系统中就成了首选，是最为可靠、效果最好的控制规律。随着锅炉控制的发展，出现了许多改进的 PID 控制算法，如带死区的、积分分离的、参数自整定的等一系列 PID 控制规律^[2,3,4]。伴随控制理论的发展，自适应控制、预测控制方法也被应用到锅炉的控制系统中^[5,6]。近年来，锅炉机组越来越向大容量、高参数、高效率的方向发展，对机组热工自动控制系统控制品质的要求也随之提高。各类改进的 PID 控制器因其参数物理意义明确、易于调整且具有一定的鲁棒性，目前在热工过程控制系统中仍然占据着主导地位。但是改进的 PID 控制器仍然很难满足模型不确定的控制要求。为解决上述问题，控制学家及工程设计人员们在不断改进 PID 控制方案的同时，开始引入专家系统、模糊控制、神经网络控制等到锅炉的控制系统中^[7]。

锅炉燃烧过程系统具有多变量、强耦合和非线性等特点，常规 PID 控制难以取得良好控制效果，而有经验的操作人员却可以通过手动控制收到令人满意的效果，在这样的事实面前，人们又重新考虑人的控制行为有什么特点，能否利用计算机模拟人的思维方式对无法构造数学模型的系统进行控制决策。以模糊集合与模糊逻辑为基础的模糊控制应运而生，成为解决过程控制的有效手段。

尽管模糊控制的研究已经取得了丰硕的成果，但模糊控制理论远非成熟，它还有一些重要的理论课题还没有解决^[8]。其中最为关键的问题是：如何获得和优化模糊规则及隶属度函数。在模糊控制理论和应用方面，应加强模糊控制规则设计方法及其优化的研究，包括模糊集合隶属函数设定方法、量化水平、采样周期的最优选择、规则的系数、最小实现以及规则和隶属度函数参数自动生成等问题。模糊控制源于启发式直觉推理，其本身的推理方式难以保证控制效果的最优，解决模糊控制器的优化问题也是进一步将其推向工业应用的有效手段。为适应现代工业控制的要求^[9]，模糊控制器在应用中正朝着自适应、自组织、自学习方向发展

展，使模糊控制真正达到仿人智能控制的目的。

近年来，针对自适应模糊控制器中隶属度及模糊规则的自动获取，遗传算法发挥了很大的作用^[10]，但在未知先验知识或先验知识不完备的条件下，不同规则之间的交叉特别复杂，因而应用受到限制。进化规划取消了遗传算法中不可少的交叉操作，而将变异作为其主要进化手段，为求解空间未知的情况提供了又一种并行、随机、和自适应的全局优化方法，因而更适用于模糊规则基的自动寻优。

本文在普通进化规划的基础上提出改进的进化规划模糊算法，并应用于锅炉燃烧控制系统中，通过仿真及现场验证，表明进化规划模糊算法在自适应模糊控制中发挥了良好的作用，并有一定的工程应用价值。

1.2 进化规划的发展历程

进化规划的思想是 L. J. Fogel 在 1960 年首先提出来的。L. J. Fogel 在有限状态机 (finite-state machines) 的研究中发现，早期的神经网络方法和启发式算法无法满足系统不断提高性能的要求，他希望通过系统的自适应机制来达到这一要求，正是这一基本思想导致了进化规划的产生。所谓状态机就是将周围的环境情况，用有限字符集中的符号组成的符号序列来表示，根据目前已知的符号序列得到新的字符序列，通过适应值函数的比较以便获得更准确的预测结果。1966 年 L. J. Fogel、Owens 和 Walsh 合著了《Artificial Intelligence through Simulated Evolution》一书，该书系统地阐述了进化规划的基本思想，在进化规划的发展过程中具有重要的历史意义^[11]。早期的进化规划在问题预测和自动控制领域获得了一定的成功，这种成功也没有改变进化规划不被接受的命运。除了 L. J. Fogel 外，Lutter、Huntsinger 和 Dearholt 等人也为进化规划的早期发展做出了重要的贡献。Lutter 和 Huntsinger 将自动状态机的成果应用于工程领域，取得了较好的效果；Dearholt 则使用进化规划的思想进行实际问题的解决^[12]。

在二十世纪八十年代中后期，随着应用范围的扩大，进化规划进入了一个新的发展阶段。在这一发展阶段，D. B. Fogel 发挥了重要的作用。从二十世纪八十年代中后期到九十年代，D. B. Fogel 使用进化规划解决 TSP 问题，改善了求解性能；他将进化规划应用于连续参数优化问题领域，扩大了进化规划的适用范围，增强了进化规划的影响力。在此期间，进化规划不断扩展其应用领域，取得了相

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库