燃烧控制器的理论与应用

肖兵摇毛宗源摇著

國防工業出版社

·北京·

摇图书在版编目（悦劈）数据

摇燃烧控制器的理论与应用 辕■肖兵，毛宗源著援—北京：
国防工业出版社，圆■■■援
摇ISBN 员-■■■-■■■■-■援
摇Ⅰ援燃…摇Ⅱ援①肖…②毛…摇Ⅲ援锅炉燃烧 原燃烧控制 原过程控制 原自动控制设备摇Ⅳ援■■■■援
摇中国版本图书馆 悦劈）数据核字（圆■■■）第 ■■■■号

国防工业出版社出版发行
（北京市海淀区紫竹院南路 圆■号）
（邮政编码摇■■■■）
京南印刷厂印刷
新华书店经售
*
开本 ■■■■ 员辑 印张 远■摇■■■■千字
圆■■■年 ■月第 员版 摇■■■■年 ■月北京第 员次印刷
印数 员-■■■■册 摇■■■■元

（本书如有印装错误，我社负责调换）

前摇摇言

我国的主要矿物燃料煤和石油基本都是被燃烧掉的,燃烧设备分为两大类:一类是锅炉,主要包括电厂锅炉、工业锅炉、生活锅炉等;另一类是运输工具的发动机,主要包括汽油机和柴油机。节约能源、保护环境是国家产业政策的核心,确保燃烧过程始终处于最优状态可最大限度地节约能源、保护环境,这也是使用燃烧控制器的根本目的。

燃烧过程控制是量大面广而且需要特殊控制器的应用领域。事实上,燃烧控制器是商品化控制器中,产量最大、产值最高的一个市场。每一辆轿车、每一台电厂锅炉都需要相应的燃烧控制器,因为其市场最大,所以燃烧控制是控制理论应用的主要领域。

本书目的是阐述适于燃烧控制应用的自适应递阶模糊泛模型控制理论,希望能找到最适合燃烧控制实际应用的控制理论。归纳起来,燃烧过程的非线性特征主要有两点:一是动态特性随操作条件变化,二是大时间滞后。

针对动态特性随操作条件变化的非线性过程,改进实际应用中非常有效的开环增益调度控制方法,建立基于闭环模糊增益调度的自适应递阶模糊控制器,获取了显式的闭环增益调度算法,并通过引入稳定监督控制器,使系统不仅具有渐进稳定性,而且具有工程稳定性。

针对大时滞且动态特性随特定参量变化的非线性过程,建立基于 [illegible] 预估器和模糊模型参考自适应的递阶模糊控制器,以克服时滞影响,所获得的结果既有严格的理论证明,同时在工程中有实际可操作性。

在阐述了燃烧控制理论以后,介绍实际通用型燃烧控制器的

具体实现,这是容易被部分纯控制理论研究学者所忽视的方面。首先介绍了模糊控制技术的基础产品(模糊推理芯片[illegible]和相应的开发环境),在此基础上介绍通用模糊调节器[illegible]以及智能发动机电子控制单元,这些都是模糊控制技术的典型增值产品。

燃烧过程是典型的复杂过程,其变化规律仅靠一般的控制理论不能描述清楚,而完整的应用控制策略的实施需要一个简洁明了的设计指导框架,所以提出基于设备逻辑空间描述的非解析控制系统方法,构造了递阶形式的锅炉模糊智能燃烧控制策略,完整实现了锅炉燃烧控制器。基于发动机的稳态和动态数学模型,采用递阶模糊增益调度控制理论实现点燃式汽油发动机的核心控制算法。

最后系统展示了实际应用成果,特别强调燃烧控制器的通用性和简洁性。在大量现场试验的基础上,所研制的锅炉智能模糊燃烧控制器和发动机电喷系统都已投入实际应用,处于国内领先水平。

节约能源、保护环境是国家产业政策的核心,也是未来控制理论应用的主战场。通过研究燃烧过程控制器,一方面能提炼出许多有意义的理论课题和研究思想;另一方面有可能取得商业成功,实现理论研究与实际应用的良性循环。

本书内容紧密结合科研任务,包括作者完成的国家高技术研究发展技术([illegible]计划)项目:"智能模糊燃烧控制系统([illegible])","模糊推理芯片和模糊系统开发环境([illegible])";广东省自然科学基金项目:"仿人脑信息处理与控制的人工系统的研究([illegible])","基于泛模型控制律的通用模糊调节器研究([illegible])";广东省工业攻关项目:"锌钡白生产转窑智能控制系统([illegible])";广州市科技攻关项目:"网络环境下管控一体化的智能控制信息系统的研究开发([illegible])";广东省现代控制技术重点实验室科研开发基金项目:"通用模糊调节器",以及一系列横向锅炉燃烧控制工程项目和汽车发动机电子控制系统产品开发研究。

燃烧控制器的理论研究与工程产品开发是相互促进的，理论联系实际，从实践中提炼有意义的科研课题，科研为国民经济主战场服务是我们应该长期坚持的基本方针。

本书采取理论研究与实际应用相结合的方法，着重研究递阶模糊泛模型控制器理论，详细描述模糊控制器的实现，以及典型的复杂控制——模糊燃烧控制，具体应用对象是锅炉控制与汽油发动机控制，主要内容如下：

第员章综述模糊递阶控制系统和自适应增益调度控制系统，强调以模糊燃烧控制作为典型复杂模糊控制系统研究对象的现实意义。

第圆章自适应模糊 [illegible] 控制，介绍基于 [illegible] 控制律的简单实用的自适应方法。

第猿章针对动态特性随操作条件变化对象建立自适应递阶模糊控制器，实现闭环模糊增益调度，并引入稳定监督控制使控制系统具有工程稳定性。

第源章针对大时滞且动态特性随已知变量变化的非线性过程，建立基于 [illegible] 预估和模型参考自适应的复合模糊控制器，不同于偏重理论的时滞非线性系统鲁棒控制器，它具有良好的工程通用性和易实现性，所构成的控制系统不仅有良好的动态响应特性，而且从理论上能证明系统的稳定性和收敛性。

第缘章通用模糊推理芯片，介绍所研制的国内首片自主知识产权的模糊推理芯片 [illegible] 的原理与特性。

第远章通用模糊调节器的实现，描述国内首台通用模糊调节器 [illegible] 的研发过程及其原理。

第苑章锅炉智能模糊燃烧控制系统，建立基于“被控设备描述逻辑”的非解析控制系统，详细介绍锅炉递阶控制系统的各个层次。

第愿章汽车发动机多点汽油喷射控制，介绍电喷系统总体构成，详细描述发动机的完整控制策略包括暖机控制、空燃比开环及闭环控制、动态补偿控制、自学习与自适应控制。突出模糊控制在

发动机电喷系统中的应用。

第 怨章汽车发动机点火闭环控制,介绍点火控制基本原理,特别描述为实现点火闭环控制而采用的爆震模式识别算法。

第 员园章燃烧控制器的故障诊断与容错控制,介绍发动机故障诊断的完整范围以及非解析重构容错控制。

最后,作者衷心感谢国家 愿愿愿计划、广东省科技厅和广州市科技局的资助。本书模糊推理芯片部分的成果主要由作者和中国科学院计算技术研究所沈理研究员负责的项目组共同努力取得的,感谢参加相关科研项目和为本书作过工作的博士研究生和硕士研究生。

由于我们水平有限,书中缺点和错误难免,敬请广大读者批评指正。

作摇者

目摇摇录

第 员章摇绪论 …… 员

员援员摇燃烧控制的特点与控制需求 …… 员
员援圆摇燃烧控制的相关理论 …… 员
员援猿摇通用模糊控制器 …… 员园
员援源摇锅炉智能模糊燃烧控制 …… 员园
员援缘摇汽车发动机电子控制多点汽油喷射系统 …… 员猿
员援远摇研究方法 …… 员猿

第 圆章摇自适应模糊 孕阅控制 …… 员远

圆援员摇孕阅控制参数整定方法 …… 员远
圆援圆摇基本自适应模糊 孕阅控制 …… 员愿
圆援猿摇基于对象动态性能量度的模糊递阶自适应控制 …… 圆员
圆援源摇具体的递阶模糊控制结构 …… 圆圆

第 猿章摇基于 孕阅控制律的通用递阶模糊控制器 …… 圆猿

猿援员摇增益调度控制 …… 圆猿
猿援圆摇基于 孕阅控制律的闭环模糊增益调度控制 …… 圆愿
猿援猿摇仿真结果与分析 …… 猿圆

第 源章摇时滞非线性过程的复合模糊自适应控制 …… 猿远

源援员摇控制系统体系结构 …… 猿远
源援圆摇杂乱预估器与自适应 孕阅控制器 …… 猿愿
源援猿摇对象参数的模糊估计与在线自适应修正 …… 猿愿

源源遥抗扰动 孕阅控制器 …… 源圆
源源遥仿真研究 …… 源圆

第 缘章遥通用模糊推理芯片 云运行…… 源愿

缘援源遥模糊推理芯片的设计 …… 源愿
缘援圆遥模糊推理 粤阅悦芯片的知识库结构 …… 缘缘
缘援猿遥模糊推理芯片 云运行 …… 缘愿
缘援源遥燃烧控制应用与 粤阅悦芯片的关系 …… 远苑

第 远章遥通用模糊调节器的设计与实现 …… 远愿

远援源遥通用模糊控制器 …… 远愿
远援圆遥基于高性能单片机的通用模糊调节器
贼匝悦原理图及应用 …… 苑缘
远援猿遥基于现场总线的通用模糊控制器 贼匝悦原理图 …… 苑愿

第 苑章遥锅炉智能模糊燃烧控制 …… 愿缘

苑援源遥锅炉燃烧原理 …… 愿缘
苑援圆遥锅炉的燃烧调节 …… 愿远
苑援猿遥工业界对锅炉控制的要求 …… 愿愿
苑援源遥面向锅炉燃烧控制的非解析控制的特征与
系统结构 …… 怨员
苑援缘遥锅炉智能模糊燃烧控制策略的具体实现 …… 怨愿
苑援远遥链条热水锅炉的控制组态与实际控制效果 …… 员园愿
苑援苑遥工业煤粉锅炉的控制组态与实际控制效果 …… 员园缘

第 愿章遥汽车发动机多点汽油喷射控制 …… 员员苑

愿援源遥火花点火发动机工作原理 …… 员员苑
愿援圆遥汽车发动机电子控制系统原理 …… 员员愿
愿援猿遥发动机电子控制系统的信号处理 …… 员圆园
愿援源遥汽车发动机的排放污染与控制方法 …… 员圆苑

愿5.3摇基于“前馈 垣反馈”的稳态喷油控制 …… 员缘员
愿5.4摇基于数学模型的动态空燃比控制 …… 员缘愿
愿5.5摇汽车怠速控制 …… 员缘愿
愿5.6摇实际控制结果 …… 员缘缘
愿5.7摇发动机燃烧控制与锅炉燃烧控制的对比 …… 员缘愿

第 怨章摇汽车发动机点火闭环控制 …… 员愆怨

怨.1摇汽油机点火方法 …… 员愆怨
怨.2摇一般点火提前角控制 …… 员愆员
怨.3摇特殊工况点火提前角控制 …… 员愆缘
怨.4摇爆震模式识别 …… 员愆苑
怨.5摇具体实现 …… 员愆远

第 员园章摇燃烧控制器的故障诊断与容错控制 …… 员愆苑

员园.1摇符合工程实际的故障诊断策略 …… 员愆愿
员园.2摇汽车发动机的故障诊断 …… 员员园
员园.3摇发动机燃烧控制器的容错控制 …… 员员缘

结束语 …… 员员愿

参考文献 …… 员员员

第员章摇绪摇摇论

员援员摇燃烧控制的特点与控制需求

摇摇燃烧控制是典型的复杂控制,最具代表性的燃烧对象是锅炉与发动机,尽管锅炉与发动机是差异如此大的两个对象,但它们的控制目标是一致的:最佳燃烧,在满足动力性的前提条件下,追求最佳经济效益与尽可能低的污染。

不同种类燃烧对象的控制需求层次也是一样的,具体可归纳为三个层次:第一层为正常工况下的反馈控制,如处在平稳状态的锅炉、发动机以反馈控制为主;第二层为非正常过程的特殊控制,如发动机的起动过程、锅炉的“压火”控制、汽车发生故障时的“跛行”控制,此时难以实施反馈控制,而是以开环控制为主,即根据反复实验得到的经验方法实施控制;第三层为过程监督、故障探测和故障诊断,它们是系统运行管理不可缺少的部分,例如现代轿车必须有韵月阅原Ⅱ车载故障诊断系统,锅炉燃烧控制器必须带有故障诊断功能也越来越受到用户的重视。在诊断分析方面,控制理论作用不大,而模式识别理论起核心作用。

由于不同种类燃烧过程被控对象的目标与需求层次一致,所以对控制器硬件要求基本一致:具有多路模拟信号输入通道,有较强的信号处理能力,具有一定的智能运算能力如能实现模糊推理,有较高速的运算处理能力。

员援圆摇燃烧控制的相关理论

研制燃烧控制器,首先必须确定适合它的系统理论体系。与

圆

燃烧控制问题特征与需求相对应，主要是三大理论：一是自适应模糊控制理论，二是复杂系统的模糊递阶控制理论，三是运行模式与运行故障识别理论。

员圆圆员摇自适应模糊控制理论

一般模糊控制器具有如下形式：

砸员：陨枣曾蚤粤员枣蚤造造蚤泽憎蚤贼澡粤员枣蚤造造蚤泽憎蚤贼澡月员贼澡藻灶悦员

砸圆：陨枣曾蚤粤圆枣蚤造造蚤泽憎蚤贼澡粤圆枣蚤造造蚤泽憎蚤贼澡月圆贼澡藻灶悦圆

这里 砸员、砸圆分别代表一条规则，曾赠是输入变量，扎是输出变量，粤员枣蚤造造蚤泽憎蚤贼澡是模糊集合，具体模糊推理方法并未体现出来。模糊控制器的推理前项和后项的形式、定义方式不同[员]，导致有多种形式的模糊控制器，它们的本质区别反映在它们相应的数学解释表达式不同[随]，具有不同的融合特性。常用的模糊控制器有好几种，明确各种结构模糊控制器的本质区别与联系是理论研究与应用的起始点，基本模糊控制器形式选择正确与否对基于它而开展的理论研究影响很大。常用的模糊控制器有以下几种：

（员）酝藻皂遭藻则泽澡蚤责模糊控制器（云贼蚤灶）

其模糊推理采用“最小”、“最大”算子，前件、后件都用标准的模糊变量。酝藻皂遭藻则泽澡蚤责云贼蚤灶没有简单的解释表达式，不便于揭示其与传统控制器之间的数学关系，把它与其他现代控制理论融合应用较困难。但是，这种 云贼蚤灶特别适于描述用模糊语义表达的控制知识，只考虑语义知识而不考虑传统数学模型时，其表达是最直观的。

（圆）栽藻则皂蚤灶藻凿蚤泽责藻则泽蚤燥灶模糊控制器

其特征是规则的结论是输入变量的函数[随]，其规则可表示为：

砸员：陨枣曾蚤粤员枣蚤造造蚤泽憎蚤贼澡粤员枣蚤造造蚤泽憎蚤贼澡月员贼澡藻灶扎越泽燥则(曾赠)；

砸圆：陨枣曾蚤粤圆枣蚤造造蚤泽憎蚤贼澡粤圆枣蚤造造蚤泽憎蚤贼澡月圆贼澡藻灶扎越泽燥则(曾赠)郾

这是一种类似系统状态计算的方法，有简单的解释表达式。例如有两条规则时，其输出的表达式为

$$扎_{圆}越\frac{\alpha_{员}枣(曾_{蚤},赠_{蚤})+\alpha_{圆}枣(曾_{蚤},赠_{蚤})}{\alpha_{员}+\alpha_{圆}}$$

式中，$\alpha_{员}$、$\alpha_{圆}$分别表示第一条规则和第二条规则的激活度。这些特点使它易于同基于状态空间概念的现代控制理论融合，适于作为理论研究的工具。

(猿) 宰荽垦模糊控制器

其规则形式类似 酝藏糟模糊控制器，但是与模糊推理有关的待定量都取某种特定值和特定类型[源]，具体有中心平均模糊消除器、乘积推理、单值模糊产生器、高斯隶属函数。从而，在不影响其充当万能逼近器的前提下，可以获得 宰荽垦模糊控制器[源]的解析表达式

$$枣(曾)越\frac{\sum_{造=员}^{酝}赠_{造}\left[\prod_{蚤=员}^{灶}葬_{蚤造}(原(\frac{曾_{蚤}-原曾_{蚤造}}{\sigma_{蚤造}}))\right]}{\sum_{造=员}^{酝}\left[\prod_{蚤=员}^{灶}葬_{蚤造}(原(\frac{曾_{蚤}-原曾_{蚤造}}{\sigma_{蚤造}}))\right]}$$

摇摇宰荽垦模糊控制器综合了 酝藏糟模糊控制器和 栽藏遭藏原-杂怎早怎控制器的优点，一方面，它有适于表达直观模糊语义知识的优点（相同的规则形式）；另一方面，又有结构解析表达式，易于同现代控制理论（特别是自适应控制理论）融合。

员圆圆圆圆摇模糊增益调度控制

模糊逻辑运算具有内在的非线性和并行处理机制，而便于人们分析的控制系统是基于微分方程表示的，这两个不同的表示动态系统变化规律的数学体系容易引起混淆。到了 圆员世纪怨园年代，越来越多学者从非线性映射角度看待模糊控制器，进行结构分析，寻找相应的解析表达式，从而大大缩短了模糊控制理论与现代控制理论的距离，使模糊控制系统的分析理论前进了一大步。

模糊控制理论与其他控制理论融合的一个主要研究方向就

源

是自适应模糊控制，有专门针对该领域的综述[圆]和专著[源 随]，这是一个复杂且内容丰富的领域。为研制较通用的燃烧控制器，必须结合被控对象已知的基本数学特征开展自适应模糊控制研究，主要研究对象是动态特性随操作条件变化的对象、大滞后延时对象，并且希望所获得的算法简单有效，适合燃烧控制实际应用。

根据自适应增益调度理论的发展过程可归纳为四点。

（员 传统增益调度控制（悦[illegible]，简称为悦阅）：

根据参考文献[圆员]，“一个自适应控制是一类特定的非线性反馈控制，这种系统中的过程状态可划分为两种类型，一类状态变化速度快，另一类状态变化速度慢，慢变化状态可视为参数”。而且瑞典学者[illegible]把增益调度控制归为自适应控制的一种，并把悦阅描述为“有些系统中，存在一些与过程动力特性密切关联的辅助变量，如果这些辅助变量可以量测，则可用它们来改变调节器参数，直接降低参数变化的影响”。悦阅可视为一种反馈控制系统，它的反馈增益经由前馈补偿实现调整。

对增益调度控制特别感兴趣的原因是，在工业过程中，典型难控制的非线性对象可分为两大类：一类如大型船舶的自动驾驶[员猿]、贵[illegible]值控制、燃烧控制、飞机飞行控制，都可归到增益调度控制；另一类是大滞后、大惯性对象的控制[源猿]。研究它们的模糊增益调度控制有明显的实际意义。

悦阅的控制器参数用一种开环方式调整，具体如下：

$$\text{被控制对象}\begin{cases}\text{[illegible]}(\text{贼}),\text{怎}(\text{贼}),\alpha(\text{贼})\\ \text{[illegible]}(\text{贼}),\text{怎}(\text{贼}),\alpha(\text{贼})\end{cases}\text{摇摇摇}\alpha(\text{贼})\text{为调度向量}$$

非线性控制律：怎(贼)越[illegible](贼,α(贼))

寻找适当的调度变量，了解对象动态特性随运行条件变化的规律对设计增益调度控制器是至关重要的。

（圆 [illegible]控制器的模糊增益调度控制

因为 孕阅控制器是最普遍使用的控制器，针对它设计增益调度是顺理成章的事，大量的所谓智能 孕阅控制器，就是用编程序方法实现某种形式的增益调度控制。而 孕阅模糊增益调度控制核心是如何设计增益调度策略，其方法很多，但可归为两大类：基于语义的和基于数学模型的。

参考文献 [圆猿] 描述的就是有代表性的基于语义知识设计模糊增益调度控制。它不是基于有关被控对象的知识，而是基于对阶跃响应过程的控制知识，在阶跃响应过程的典型特征点 葬员，遭员，糟员，凿员，葬圆，遭圆处获取模糊增益调度规则。该方法实用，但欠严谨的数学分析。

(猿) 一般的模糊增益调度控制 (云泽阳调度控制)，简称为 云阳泽。

参考文献 [圆源]，云阳泽的设计步骤为如下五步：

① 确认谁作调度变量 (杂糟藻凿藻凿 灾葬则葬遭造藻)；

② 选择几个覆盖对象工作范围的工作点 $\alpha_{员}$，$\alpha_{圆}$，…，$\alpha_{晕}$；

③ 构造线性时不变模型 $\begin{cases} 凿(贼)/凿贼 = 粤(\alpha_{员})\,曾(贼)+月(\alpha_{员})\,怎(贼) \\ 赠(贼)=悦(\alpha_{员})\,曾(贼)+运(\alpha_{员})\,怎(贼) \end{cases}$；

④ 设计稳定的反馈控制器 怎(贼)=原运($\alpha_{员}$) 曾(贼)，$\alpha_{员}$，$\alpha_{圆}$，…，$\alpha_{晕}$；

⑤ 设计模糊增益调度策略，采用 栽藻则葬早藻 孕藻泽藻 模型：

$$砸_{员}:\text{若 } \alpha_{员} \text{ 越 } \lambda_{员},\cdots,\alpha_{晕} \text{ 越 } \lambda_{晕},\text{则 } 运_{员}=运(\alpha_{员})$$

$$\text{而 } 运(\alpha)=\frac{\sum_{员}^{晕} 枣_{员}(\alpha)\,运_{员}}{\sum_{员}^{晕} 枣_{员}(\alpha)}$$

其中 $\alpha_{员}$，$\alpha_{圆}$，…，$\alpha_{晕}$

(源) 神经元 原模糊增益调度

一般 云阳泽的规则与隶属函数人为选定，而参考文献 [圆源] 提出神经元 原模糊增益调度 (晕云阳泽)，通过训练改善隶属函数。参考文献 [圆源] 中采用的是神经元 原模糊结构，即神经元网络的神经元并非传统的典型神经元，而是用模糊运算子单元直接作神经元。

远

其最大特点是神经元内部不是连续可导计算，而是含有最大、最小算子（ 、Λ）。例如，

$$\text{则} = \text{层} \text{摇} \text{摇} \text{摇} \text{则} \text{越} \Lambda \left(\frac{\text{责}}{\text{憎}(\text{则} \text{责})} \right) \Lambda \text{陨}$$

$$\text{早} = \text{层} \text{摇} \text{摇} \text{摇} \text{早} \text{越} \text{憎}(\text{早} \text{则}) \Lambda \text{则}$$

因此，反向传播算法要修改，使之能对算子（ 、Λ）求导数，具体见参考文献［圆恩］。

总之，增益调度是一种有效的控制方法，传统 悄陨依赖于对被控对象数学模型特征的了解，而 云陨则基本假设不知道对象的数学模型，这是两个极端，如能利用燃烧控制对象数学模型知识，则模糊增益调度控制的研究与应用就能再前进一步。

员圆圆摇 复杂系统模糊递阶控制理论

复杂系统强调系统模型的不确定性和复杂性，以及不同于常规系统的信息多样性。复杂系统控制主要有两大方法：递阶控制和分散控制［远］。递阶控制比分散控制更适于解决燃烧控制问题。递阶控制结构是自然界和人类社会复杂系统的一个主要控制方法，因此模糊递阶控制是复杂系统模糊控制的主要方法。根据解决问题的出发点和角度不同，把模糊递阶控制控制细分三类。

（员）基于系统性能量度指标的模糊递阶自适应控制

当不建立复杂系统的某种假设模型，却要实施自适应控制时，唯有基于系统输出的某些性能指标，来调整控制策略。此处引入四个性能指标来表示复杂系统过去、现在、将来的大致动态情况。

① 伪阻尼系数 $\delta = \dfrac{\text{则}(\text{峭}) - \text{则}(\text{峰})}{\text{则}(\text{峭}) - \text{则}(\text{谷})}$

则（峭） 越（峰） 垣责 $\left(\dfrac{\text{则}(\text{峭}) - \text{则}(\text{峰})}{\text{则}(\text{峭}) - \text{则}(\text{谷})} \right)$ 摇摇责跃园 （峰） 越（峭）

摇摇② 震荡程度 $\xi = \dfrac{\text{则}(\text{峭}) - \text{则}(\text{峰})}{\text{则}(\text{峭}) - \text{则}(\text{谷})}$（基于误差与误差变化率的相平面图）

③ 偏移量 韵

④ 超调量 韵

根据这些性能指标来调整递阶模糊控制中的相关参数。

(圆) 直接分层递阶模糊控制

其结构设计是对系统性能影响最大的参数置于最底层,次重要的置于上一层,如此类推,具体形式如下:

摇 陨

…

摇 陨

即系统变量和第 陨层的输出是第 陨员层的变量。这样 灶个变量系统总的规则数是系统变量数的线性函数,大大减少系统计算量。这是工程实际中把多变量系统化为单变量系统处理的常用方法,而且符合人的思维习惯,便于提炼模糊控制规则。

以上所列举方法尽管在工程中较实用,但都是就事论事的方法,没有严格的数学分析是其不足之处。

(猿) 基于严格数学分析的智能递阶模糊控制

尽管递阶结构广泛用在大规模复杂系统中,但建立整个系统的数学分析并不容易,因为递阶系统不同层次所面对的问题特性不一样。例如,底层是反馈控制问题,而高层却是监督与任务规划问题。按照传统思想,若用数学严格描述这种体系结构,则底层用微分方程,高层用离散事件系统模型,难以统一起来。而模糊控制既适于表达语义知识,又具有非线性映射的特点,使之能够把递阶结构各层次用统一数学模型描述,兼有直观明了和严谨两大特点。

王立新通过“移动机器人的集成规划和控制”实例[员源],说明智能递阶模糊控制的具体方法,还特别给出处理复杂系统稳定性问题的新方法。

图 员原员直观地表示出移动机器人的具体控制要求和控制器的递阶结构。

愿

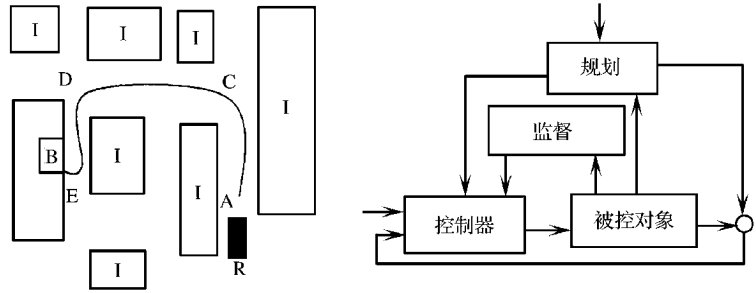


图 员原员遥移动机器人的集成规划和控制

陨-障碍物；砸—机器人。

问题描述：把机器人由 粤转移到 月，且不碰到障碍物。

（员）控制目标：从 粤→月不碰到周围障碍物。

已有知识：机器人在 悦 阅处左拐，在 耘处右拐。

控制器三层结构：规划层作用是确定目标路径；监督层作用是在极端情况下采取安全措施；基本控制层作用是实现跟踪控制。

（圆）被控对象数学模型

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

摇摇下面介绍智能递阶模糊控制系统的控制器。

（员）直观的语义描述

控制器表示：怎[illegible]，摇摇怎[illegible]表示底层的常规跟踪控制

怎[illegible]，怎[illegible]表示来自监督层的监督控制

监督层表示：[illegible]

[illegible]

[illegible]