

工业过程模型化及控制

第五卷

Industrial Process Modeling
and Control

Vol 5

主编 贾永乐 魏佑生

科学技术文献出版社

1992年中国自动化学会第五届

过程控制科学报告会论文集

工业过程模型化及控制

第5卷

主编 贾永乐 魏佑生

1992, 11, 17—20 中国 重庆

INDUSTRIAL PROCESS MODELING AND CONTROL

VOL 5

Edited by Jia Yongle, Wei Yousheng

Proceedings of the 5th Symposium of
Chinese Association of Automation
on "Process Control"

Chongqing, China, Nov 17~20 1992

科学技术文献出版社

(京) 新登字130号

内 容 简 介

本书是定期出版的论文集, 辑录国内过程控制领域的最新研究及应用成果。本卷包含以下四部分: 一、综述, 概述间歇化工、造纸、节能控制理论及新型仪表和装置等方面的现状与展望; 二、建模与辨识, 介绍工业规模对象的建模与辨识新方法及其实践结果; 三、工程应用, 介绍过程控制理论、技术及方法在工程实际中的应用; 四、控制理论, 介绍过程控制理论、技术及方法上最新研究成果。

本书可供自动控制及生产过程自动化领域的科技、工程技术人员参考, 也可作为高等院校有关专业师生的良好参考资料。

工业过程模型化及控制 第5卷

主编 贾永乐 魏佑生

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路15号 邮政编码100038)

中国科学技术信息研究所重庆分所印刷厂印刷

新华书店重庆发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092毫米 16开本 21.5 印张 549千字

1993年10月第1版 1993年10月第1次印刷

印数: 1—1000册

科技新书目: 306-103

ISBN 7-5023-2114-4/TP·112

定 价: 19.0元

前 言

中国自动化学会第五届过程控制科学报告会,于1992年11月17—20日在重庆市小泉宾馆召开,会议主办单位重庆工业自动化仪表研究所,以会上宣读及交流的论文为基础,选编了《工业过程模型化及控制》第5卷。

众所周知,在控制领域,过程控制无论是其理论还是应用,其发展深度和应用广度,都是极为引人注目的;而且,理论与实践结合一直是个老问题。随着控制理论的进一步发展及衍生、计算机技术及计算方法的不断进步,理论与实践结合问题有了较大的改观。本卷论文集纳入较多这方面的文章就是很好的说明,也是本论文集的一个特点。新的控制理论正处于探索、酝酿、逐步成型阶段,因此本书的第二特点是较多的收入这方面的初步探索成果。

本卷论文集的挑选和审查人员有:江建中高工,贾永乐高工,邵惠鹤教授,席裕庚教授,俞金寿教授,张素贞教授,吴铁军副教授,高峰博士。

本卷论文集的编辑得到中国自动化学会凌帷侯秘书长的支持,得到江建中、孙优贤、邵惠鹤、林云梯、李卫等同志的大力协助,特别是江建中、林云梯、李卫等同志在本卷出版过程中给了大量的具体的帮助,在此表示衷心的感谢。

编 者

93. 9. 7.

目 录

一、综述

1. 关于间歇化工生产调度系统开发的几点展望
蒋慰孙 陈 伟..... (1)
2. 人工神经网络在智能控制、建模优化及故障诊断中的应用
董嘉文 钱积新 廖闻彬 孙优贤..... (6)
3. 化学制浆过程控制的现状和发展趋势研究
颜文俊 孙优贤..... (12)
4. 智能仪表和新型分散型控制系统展望
袁玉瑞..... (20)
5. 智能控制理论的新进展
许晓鸣 厉隽烽 席裕庚..... (29)
6. 可编程控制器PLC的发展及应用
安燮南 张一刚 程 一 陈良怀..... (39)

二、建模与辨识

1. 生化发酵过程的数据处理——状态估计和过程自动比较
杨一兵 王树青 王骥程..... (46)
2. 厌氧消化过程微生物生态系统建模与参数估计
柯益华 孙学梅..... (51)
3. 本体法生产聚丙烯的数学模型
师瑞杰 徐博文..... (56)
4. 大型聚酯生产装置酯化反应模型研究
张素贞 姜延卫..... (62)
5. 用改进的Wang-Henke算法建立原油蒸馏塔数学模型
戴 波 秦明星..... (70)
6. 精馏过程中物料组分的在线估计问题研究
黄钟文 徐用懋 方崇智 唐 杰..... (75)
7. 随机小干扰下系统状态实时估计的一种新方法
——随机微分方程状态估计法及其在生产中的应用
夏宁茂 刘仿尧 王启栋 张嗣良..... (81)
8. 涂布过程的数学建模
胡协和 张拥军..... (87)

三、工程应用

1. 一种新型的广义预测控制器及其在青霉素发酵过程中的应用
王建奇 王行愚 李江锋……………(93)
2. 基于反应模式的间歇应用收率最优操作
金国建 俞金寿……………(100)
3. 水泥机立窑的多变量模糊控制
顾仲文 徐 春 周春晖 顾景德 程荣火……………(106)
4. 乙烯裂解炉的优化操作
黄苏南 邵惠鹤……………(111)
5. 双线性系统的自适应控制及其在谷氨酸结晶过程中的应用
孙 西 金以慧 方崇智……………(116)
6. 基于任务分解的神经网络结构设计及其在推断控制中的应用
罗荣富 邵惠鹤……………(121)
7. 综合抗干扰闭环控制策略及其在精馏控制中的应用
罗荣富 王 林 邵惠鹤 温跃刚 王克庭……………(126)
8. 对用相对灵敏度法设计精密分离操作单元分离物组成自控系统的探讨
郭 全……………(130)
9. 对二甲苯模拟移动床系统计算机控制
李宏光 潘立登……………(135)
10. 燃机联合循环电站单元机组协调控制系统的研究
于希贵……………(140)
11. 一种基于时序预报神经网络的故障预报方法及其应用
冯恩波 萧德云 方崇智……………(145)
12. M步预测器在实验装置上的应用研究
符永法 刘志峰 陈灼明……………(152)
13. 一种同时递推辨识过程和确定控制器参数的自适应PID调节器
陈 琴 王士杰……………(159)
14. 油品沸点监测仪在催化裂化装置的应用
杨真祥 魏健儒……………(166)
15. 热轨钢坯CCD非接触式测量
江庆鸿……………(170)
16. 人工神经网络在电厂再热蒸气温度控制系统中的应用
王京春 谢新民……………(177)

四、控制理论

1. 神经网络在化工柔性生产调度中的应用
陈 伟 陈 涛 蒋慰孙……………(185)
2. 基于神经网络的青霉素发酵过程状态估计
胡泽新 邵惠鹤……………(190)
3. 神经元网络在过程稳态优化中的应用
马龙华 戴连奎 吕勇哉……………(197)

4. 一种新的神经网络模型的研究及其应用	周金荣 黄道 蒋慰孙	(203)
5. 熔融指数预报建模的人工神经网络方法	王桂增 叶昊	(210)
6. 状态反馈预估控制与解耦	袁璞 左信 郑海涛 孙玉华	(216)
7. 鲁棒控制的一个新方向—— H_2/H_∞ 混合控制	袁立嵩 蒋慰孙	(222)
8. 时域系统的D-稳定鲁棒分析和设计	吴波 褚健	(230)
9. 化工过程的新型非线性控制策略	华向明 俞金寿 王玉	(238)
10. 具有消除稳态误差性质的鲁棒自校正控制器	顾兴源 邵诚	(244)
11. 具有自学习功能的调节器参数在线整定专家系统的研究	刘振娟 李宏光	(251)
12. 预测控制的直接设计方法	厉隽烽 席裕庚	(256)
13. 基于非参数模型的非线性系统预测控制	许晓鸣 方兴其 乔宇	(262)
14. 线性时变系统的动态矩阵控制	方兴其 许晓鸣 席裕庚 邵惠鹤	(271)
15. 多变量过程的鲁棒解耦	陈苏平 孙优贤 周春晖	(277)
16. 一种改进的非线性系统直接控制方法	王凡 厉隽烽 席裕庚	(284)
17. 加压网前箱上的容错控制理论及应用	葛铭 葛建华 孙优贤 罗筱玲	(291)
18. 聚酯生产中的专家系统ESPET	张杰 张素贞	(296)
19. 热工过程控制的奇异值分解分析方法	沈炯	(302)
20. 一种基于 δ 算子Lattice滤波器的故障检测方法	李渭华 肖德云 方崇智	(309)
21. 改进的GMDH方法及其在聚丙烯熔融指数预报中的应用	徐田军 王桂增	(316)
22. 多变量非线性内模控制系统研究	袁德成 李健 姜长洪	(323)
23. 人工神经网络的另一种训练算法——CHEMOTAXIS	丁磊 朱学峰	(332)

一、综 述

关于间歇化工生产调度系统 开发的几点展望*

蒋慰孙 陈伟

(华东化工学院自动化研究所)

摘要: 本文比较系统地讨论了间歇化工生产调度系统在工业应用中的复杂性及存在的问题, 并对下一代工业调度系统的开发作了几点考虑。

关键词: 间歇化工生产过程, 调度, 用户界面优化算法

一、引 言

现代化工发展的一种重要趋势是从少品种大批量生产向多品种少批量生产发展, 这就使得间歇过程作为化工生产的一种方式变得更为重要了。间歇生产过程一般可分为多产品操作和多目的操作两大类。前者如油漆生产, 各种产品具有基本相同的生产流程; 而后者在食品、医药、染料和中试车间中被普遍采用, 其产品的生产流程和配方都有所不同。在实际的间歇过程中通常需要生产几个到上百个的不同产品, 其总体生产活动和经济效益很大程度上取决于生产上的计划和调度, 为此安排生产计划和调度时必须协调原材料、劳动力、能源等资源 and 市场需求, 以及产品的批量、设备维修和长期需求量等诸多冲突的因素。多年来, 间歇生产过程的计划和调度一直受到工程技术人员和管理人员的高度重视, 提出了许多优化调度算法^{[1][2][3]}, 但到目前为止, 所取得的结果在间歇化工生产中的应用还是十分有限。

近年来, 应用计算机辅助调度工具的需求日益增长, 这主要有两个方面。首先, 调度人员可以根据计算机信息系统提供的当前用户需求、产品库存和设备状况与全体有关人员建立有机的联系。其次, 借助计算机管理信息系统在间歇生产中执行调度和完成某项任务时, 可迅速取得合作部门沟通的结果, 解除了调度人员与合作者进行频繁劳累的交谈, 特别是企业领导者和各部门的负责人, 担心调度人员的变动将会给生产带来严重影响, 所以应用计算机辅助调度工具可以实现企业生产稳定和系统的调度操作。

*国家教委博士点基金资助项目

二、工业生产调度的复杂性及存在的问题

针对多产品和多目的间歇化工生产过程，调度人员所面临的生产调度是一项相当繁重任务，具体表现在：

(1) 生产工艺

在化工间歇生产中，不同产品所使用的原料、溶剂、生产过程和产物不同，其投量和产量也不同，尽管有些产品工艺过程和设备容器有所类同，但操作工序有多有少，也有些产品要通过几个中间体的合成，或需经过某种特殊处理和特定的反应器内获得等等。总之，在多产品和多目的化工间歇生产中，其产品的生产过程各异，而且在交换产品生产上，可能其中某些原料、溶剂和中间体会发生互相反应而影响产品的产量和质量。比如说，对产品A的生产中需加某种催化剂，而该催化剂的存在却会抑制B产品反应，若紧跟一批A产品之后需要生产B产品时，必须进行清洗有关容器和管道，这就会导致生产时间上的消耗或者质量的降低。若有种C产品或中间体不受A产品和催化剂的影响，而插入C产品或中间体的生产时间和产物不影响B产品的反应和进行生产的等等多产品和多目的化工间歇生产中，由人进行优化调度是难以达到的。

(2) 资源

企业要进行和完成某项生产任务所涉及的因素甚多，除产品生产的优化调度外，各种产品的原辅料、水、电、煤、蒸汽、运输、设备维修和操作人员等等，缺一不可，这对企业的调度人员来说，不仅要掌握企业内部的全面实况，而且要时刻收到当天各方面正在进行的现状，有着随时改变调度的可能，因此企业的科学化和现代化的调度对企业的经济效益是息息相关的。在一个企业内，在有限的资源条件下，调度人员如何做到不因资源的暂时短缺而又要充分有效的利用生产设备能力，并又如期完成各项产品的生产任务，如此所牵涉面之广和工作量之大对调度人员是一个极其困难的问题。比如说，遇到供汽（蒸汽）暂时短缺时，就要影响企业的整个生产进行，此时采取何种调度方案就大有文章了。既可以汽定产，也可停产而用汽清洗设备，或者保留部份生产和进行部份设备清洗等等。凭几个调度人员也并不能解决得很完美。若采用现代先进的计算机辅助调度工具，就能迅速提供最佳的调度方案，因此计算机辅助调度工具应成为现代化企业不可缺少的先进工具。

(3) 存货

企业都备有一定量的原辅料和产品的库存量，以保证生产的正常进行和及时提供用户的需求。当产品有几十个和上百个的大企业，如何能在取得的信息基础上确定实际而又科学的存货量则是一个相当复杂和重要的课题。目前，在我国企业中不少存在着产品和原辅料库存量过多或短缺的问题，原因就在存货的调度上无法正确测算，实际上是调度手段跟不上企业现代化生产方式的发展。

(4) 质量管理

产品质量的管理是一个贯串生产全过程的调度内容。在生产各个工序上都有可能产生质量指标上的波动，有时有一项或几项指标偏低或完全不合格，调度人员要及时拿出调度措施，这样就增加调度人员的困难。

(5) 操作优先权

在化工间歇生产上,有时对某些设备要采取优先操作。例如分离器 m 、 n 、 k 均可加工产品 A ,而 m 、 n 通常分离得更为彻底,那么对分离器 k 仅仅在不得已时才采用。这也使企业调度复杂化。

(6) 设备

在化工间歇生产上,由于生产上有规模大小不同的过程装置,也将使调度复杂化。若一个用户需要6000公斤产品 A ,调度员是决定生产6批1000公斤还是4批1500公斤呢?或者两批1500公斤加上三批1000公斤来满足6000公斤的需要,可能的方案有很多,不过,一般来讲每个装置对每个产品都有一定的生产定额,这就加深了问题的复杂性。对于半连续过程,工业调度必须确定各产品生产流水线的规模和长度。

(7) 调度目标

在许多情况下,最重要的是满足用户期限的同时保持安全库存。另外的目标,还有最大限度缩短生产周期,提高产量和削减库存等等。所有这些目标都是从属以上(1) — (6)讨论中的约束条件。

V. B. Godin曾回顾了大量早期在交互式调度方法方面的研究^[4]。他指出在交互式调度系统的假设和实际中的情况有惊人的距离。自论文发表以来,计算机价格不断下跌,人们对计算机辅助管理也越来越熟悉,以及对计算机辅助制造带来效益的认识,许多障碍已很大程度上得到克服,而系统设计问题随着有效的交互式调度工具的发展也将被克服。

三、交互式工业调度系统的几点展望

在实际交互式工业调度系统中,用户界面和优化方法是其两个最重要的方面。下面本文拟对今后工业调度系统的开发作几点设想,尽管它们听起来对大家都很熟悉,但在过去的研究中被忽视了。

3.1 优化方法

优化方法是交互式工业调度系统开发研究中的核心问题。尽管多年来一直受到工程技术人员和管理学者的高度重视,到目前为止,所取得的结果在间歇化工生产中的应用是有限的。原因之一是大多数研究中,简化了实际生产过程,将其假定为定常和静态的。而一个工厂的实际生产环境是动态的、复杂的并且其结构和调度目标是变化的,所以目前用一种精确的优化算法或一般启发式算法都无法适应复杂工业生产调度的要求。因此,在开发新一代交互式工艺调度系统的优化算法时尤其应注意以下几个问题。

(1) 研究强有力的次优化调度算法

实际工业调度问题在数学上属于NP问题。目前所提出的诸如MILP、BAB等精确算法都不可避免地遇到“组合爆炸”问题。这就表明复杂的大型工业问题必须采用次优的方法解决,而目前提出的启发式次优算法却存在着通用性和解的质量较差的问题。这也是目前工业调度系统未得到实际运用的主要原因。实际间歇化工生产调度中,许多问题本身就是模糊的、多义的、不精确的、随机的、人机交互式的。因此,若能借助现代智能科学与随机优化理论(如模拟退火、神经网络理论等)提出人工智能与解析方法相结合的智能启发式优化算法和随机优化算法,计算机生产调度系统的应用将有望获得实质性的突破。

(2) 建立准确的间歇化工生产调度模型

正如前面提到,目前大多数研究中简化了实际生产过程,诸如忽略批量的传输时间和单元的启动时间,全厂生产只采用单一的中间储罐策略,对优先调度、优先操作权以及发生故障、设备维修等情况均未考虑。我们知道,如果建立的模型不能充分反应实际生产过程,那么要获得最优化调度是极其困难的,而且得到的调度可能与实际情况大相径庭,这也是目前计算机辅助调度失败的重要原因之一。

(3) 次优调度算法得到的方案应符合实际工作情况并方便可行

这一点在研究算法时往往被忽视了。对实际工业调度来说,不论这种优化算法性能多好,若其给出的方案极其复杂、不易实际生产操作,那么该算法也是毫无应用价值的。

(4) 优化算法应具有“柔性”

由于间歇化工生产过程的每一部分无法用一个模型来统一表示,而对日常的工业调度来讲,修改和再次最优化一个调度的能力是其重要特征。因此,优化算法的“柔性”对工业调度系统显得十分重要。这一点在过去的最优化算法研究中未曾被考虑过。所以,实际工业调度系统的优化算法应能将修改过的方案作为再运行的初值。

(5) 综合调度目标函数的提出

Makespan、切换成本、延滞等是目前主要研究的几种目标函数。结合这些目标函数,提出一种综合目标函数并考虑市场动态情况以及各种间歇化工生产中出现的操作约束的研究,还须进行大量工作。

总之,在下一代的工业调度系统的调度优化软件包中,应包括目前已开发的多种调度算法的同时,还应包括考虑以上五个方面的智能次优算法,并允许人工干预,使软件易使用易修改。

3.2 用户界面

用户解决问题采用与计算机对话的交互方式,已在实际工业调度系统的开发中越来越引起人们的重视。但下一代人机交互调度系统在数据显示方面还应注意以下几个问题:

(1) 对于实际工业过程,庞大的数据量无法同时显示在终端屏幕上,有必要将信息按级别分解存贮显示。一种很有效的方式是将其分解成工厂级、作业级和设备级。

(2) Gant图不失为生产调度的最明了和最方便的表示方法。

(3) 客户的订单及当前的库存情况最好能以表格的形式表示。例如,对交互式调度系统来讲,可将一个屏幕分成两部分,上半部为Gant图,下半部表示客户的订单和其他信息。

(4) 随时间变化的变量诸如产品库存或资源情况等可采用曲线图的方式表示。

(5) 调度目标(如: makespan、生产成本、利润等)可采用直方图来进行比较。

(6) 开发的计算机图形应有“放大”、“缩小”、“滚动”等功能。

(7) 简单的屏幕图象效果能更迅速地被人理解。

(8) 对于交互式调度的修改,系统应将修改结果快速地显示给用户。

四、结 论

开发实际工业调度系统是进行化工生产企业技术革命的一条只需很少硬件投资的高级综合“软”措施,必能带动和强化整个化工企业的控制与管理的计算机软硬件一体化。相对于连续生产过程,间歇化工生产调度能够使其柔性最大限度地发挥出来,使产品质量、设备操作

水平、生产水平、经营管理灵活性、市场竞争能力和适应环境变化能力得到较大提高,企业的经济效益也将展现出欣喜乐观的前景。

参 考 文 献

- [1] Ku, H., Rajagopalan, D., Karime, I Scheduling in Batch Process Chemical Engineering Progress, Vol. 87, №8, (1987)
- [2] 陈伟 蒋慰孙, 化工柔性生产系统的生产调度 化工自动化及仪表, Vol. 18, №6, (1991) PP25—30
- [3] 陈伟 田华 周金荣 蒋慰孙, 化工柔性生产系统综合自动化 炼油化工自动化, №3, (1992) PP1—4
- [4] Godin V. B, AIIE Trans, №7, (1978) PP331

Prospect of Scheduling Systems of Batch Processes in CPI

Jiang Wei-Sun Chen Wei

(Research Institute of Automation, East China University of Chemical Technology)

Abstract: In this paper, the scheduling complication and difficulty of Batch Processes in CPI are discussed. The next-generation industrial scheduling system is also considered.

Keywords: Batch Processes in CPI, Scheduling, User Interface, Optimization Algorithm

人工神经网络在智能控制、建模 优化及故障诊断中的应用

董嘉文 钱积新 廖闻彬 孙优贤

(浙江大学工业控制技术研究所)

摘要: 本文综述并探讨了基于人工神经网络的智能控制系统及神经控制器几种可能机构,神经网络在建模、优化中的应用及基于神经网络技术的故障诊断。

关键词: 人工神经网络,智能控制,建模优化,神经控制器,故障诊断

一、引言

人脑是最复杂,最有效的信息加工系统,人工神经网络则是在研究大脑神经某些重要生理特征及结构基础上设计出来的一种分布式非线性并行处理系统,它是由大量功能简单的相互联接的处理单元组成,网络的功能由学习期间其联接强度修改决定,结点特性由结点作用函数决定,其一般为非线性的,修改联接强度(权)的规则构成学习规则,神经网络模型一般由网络拓扑结构、结点特性、学习规则三个元素组成。

人工神经网络从1943年MP模型诞生起,经历了一段冷期后,80年代又重新受到重视并迅速发展,作为一种能进行信号处理、预报、模式识别等诸多工作的综合技术,已在语音合成与识别、机器故障诊断、产品质量与检测,特别是军事领域得到广泛应用。其巨大吸引力在于:1)对大量信息的并行处理能力;2)对信息的联想存取方式,使其具有自学习,自适应的功能;3)具有更大的鲁棒性或容错能力;4)由网络非线性动力学特性带来的神经计算能力和对非线性系统的自适应控制功能。

系统控制领域,我们面对的是越来越复杂和不确定系统,很难用精确数学模型描述,充分利用人工神经网的优点,结合人工智能专家系统和模糊控制理论构造仿人智能的工程控制和信息处理系统,以获取更强鲁棒性和抗干扰性能强的控制系统,已成为当前控制界的热门话题。

本文旨在综述并探讨基于神经网络的智能控制系统及神经控制器的几种可能结构,神经网络在建模、优化中的应用及基于神经网络的故障诊断技术。

二、基于神经网络的智能控制系统

智能控制系统是具有某些仿人智能的工程控制与信息处理系统,其基本特点是不依赖或不完全依赖被控对象的数学模型而主要利用人的操作经验、知识及推理技术以及控制系统某

些信息（控制输出、误差、延迟等）和性能得出相应控制。

Bavarian^[7]认为智能控制三条潜在途径是：

- (1) 专家系统作为自适应环节的控制系统；
- (2) 模糊计算推理作为决策环节的控制系统；
- (3) 神经网络作为补偿环节的控制系统。

专家系统以知识为基础，擅长严格逻辑化推理，模糊计算能处理模糊信息而进行决策，而神经网络能以样本为基础自适应地作直觉式推理获得规则，若三者结合起来，取长补短，便可获得强有力的结构。

模糊控制是基于简单规则用模糊推理和决策等工具进行控制，但模糊规则由专家给出，专家对问题认识深度和综合能力就决定控制器的能力。另外，模糊决策过程中，要执行全部相关控制规则，必然导致控制速度慢，所以模糊控制较难实时地控好较大系统，人工神经网络自学习能力和信息处理并行机制可望使模糊控制系统在动态变化环境中具有更好的适应力和较好的实时控制性能。

在图1中，模糊划分器将输入量模糊化并进行模糊划分，经过特定的人工神经网络输出转换成装置的控制。

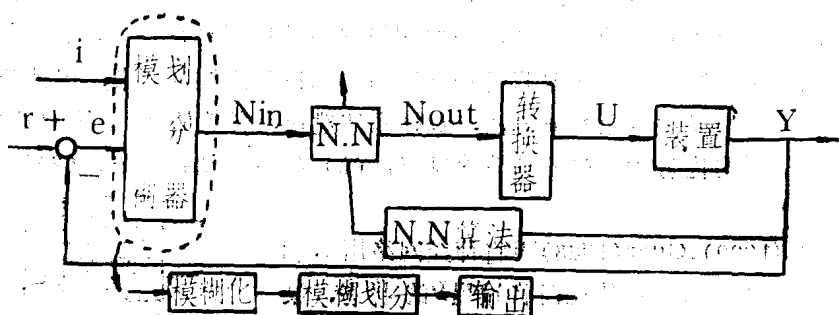


图1 基于ANN的模糊控制系统

采用这种结构优点是控制规则学习较快，实现了模糊控制并行化，结构简单，具有比传统控制系统适应性强，稳定性高等长处。

作为人工智能活跃又是应用最成功的专家系统已成功地应用于故障诊断，智能控制系统，它需要规则进行推理，这样必存在(1)知识获取的“瓶颈”效应，(2)知识不完备性，(3)推理速度慢，(4)不能在线自我完善发展新知识的缺陷。作为与专家系统不同的非线性动力学系统，神经网络可以作为补充。

人工神经网络擅长于反射性处理（即对特定刺激作出特定反应）而专家系统擅长于作解释性处理，不仅知其然，而且知其所以然，任何复杂任务最初定能涉及某些形式的解释推理。

图2结构为ES和ANN可能结合形式。

表1 人工神经网络与专家系统对照表

人工神经网络	专家系统
以样本为基础	以知识为基础
可以获取新规则	需要规则进行推理
低程序化	高程序化
模糊逻辑	严格逻辑
知识获取易	知识获取难
容 错	不容 错
过程不透明	过程透明
处理对象：数字	处理对象：符号或数字

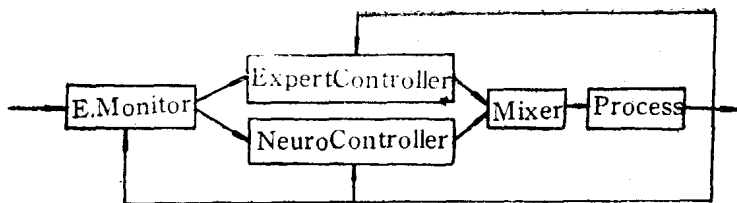


图2 ES与ANN可能结合形式

首先建立被控制过程process的基于规则专家控制器（EC），然后用EC把部分功能实时训练给神经控制器（NC）。初步训练后，获得一个监控神经网络运行的监控器（E.M），当条件变化引起NC性能下降到某一程度时，E.M将及时调整系统，这时NC处于学习状态，EC控制系统正常运行。

三、基于人工神经网络的控制器

神经网络用于控制问题可以认为是一种模式识别问题^[7]，待识别的模式是变化的状态或信号，神经网络将其映成修正系统性能的作用信号。目前神经网络应用于自控系统中，大致有两种途径：一种是直接将神经网络作为控制器（神经控制器），通过示教或训练，自动归纳出控制规则律来^[7,9]，另一种是将神经网络与传统控制律结合起来，用神经网络来实现或代替（部分或全部）某些复杂控制算法，包括系统建模，参数估计，PID算法和自适应算法，这种结构期望获得的优势为：（1）计算速度快，（2）控制器结构简单，（3）适合混合系统（连续、离散并存）。

F.C.Chen(1990), Guez(1988)^[11]将神经网络用作自校正控制系统中估计器，用传感器将过程P的状态，某些参量送给控制器C及神经网络NN，神经网络修正其状态，使其稳定后参量收敛于基于某种最优控制规律的控制器的参量，这些量传给C产生控制作用。

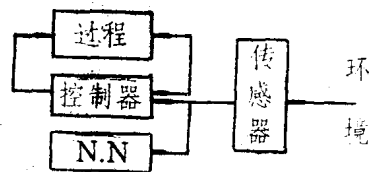


图3 基于ANN的自校正控制

逆动态特性控制器是一种纯神经网络控制器。假定对象P是可逆函数，即对任何 $X(t-1)$ 能解得 $U(t)$ 是 $X(t)$ 的函数。基本思想是以控制对象输出作为网络输入，输入作为网络输出来训练NN，使之逼近对象逆动态特性，然后将此系统串联到原系统前，使整个系统传递函数近似为1。D.Psaltis(1988)^[9]给出了针对这种结构的两种训练方法：一是间接学习结构，二是专门学习结构。这种结构只能在某些时间段内近似，故一般不用作开环控制器使用，常用作内模控制器^[6]和前馈控制器^[13]。

随时间反向传播控制器^[8,11]（D.H.Nguyen 1990, P.J.Werbos 1989），假定对象描述神经网络 $R(t)=F(R(t-1), U(t))$ ， $R(t)$ 为状态向量， $U(t)$ 为控制向量。试图使某个终点指标 $U[R(t)]$ 优化。如 $U[R(t)]$ 对 $R(t)$ 可微。我们可以计算t时刻目标函数 $U[R(t)]$ 对控制作用 $U(t)$ 的导数，并用基于模型反向传播算法中那样用这些导数改变控制作用 $U(t)$ ，从而找到最优作用 $U^*(t)$ 。这种方法目前在油气工业^[12]，炼钢工业大系统中应用较多。

性能优化控制器^[12]是将经典性能指标优化控制器结构和通过模型反向传播思想结合在一起，利用了控制作用 U 和性能指标 J 之间的因果信息。性能指标校正作为关键环节通常有两种方法：（1）常用反向传播方法，利用 $\partial J / \partial u$ 修改 U ，使 J 达到最优，另一种为启发式动态规

划, 基于修正Bellman方程形式。

$$J(R) = \max[J(F(R \cdot U \cdot \text{noise}))] + U(R) - U_0$$

其中, U_0 为防止漂移的拦截因子。(如图4)

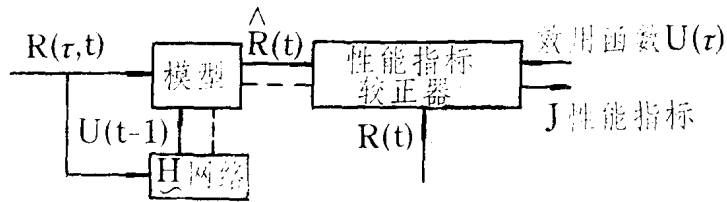


图4 利用随模型反向传播的性能优化控制器结构。

四、基于人工神经网络的建模、优化

过程控制中最基本问题就是建模, 一方面可以通过机理建模, 另一方面针对至今尚不可知复杂系统则从原始观测数据建模。Kolmogorov, Nielson^[15]等人在理论上证明了Bp网络当其隐节点函数是Sigmoid函数时, 足够精度地任意逼近连续多元函数。因此, 我们可以通过神经网络, 根据输入输出数据学习逼近任意的 $f: R^n \rightarrow R^m$ 非线性映射。McAvoy及其同事^[16, 17, 18]在这方面作了大量的工作, 他们在神经网络建模方面成功地获得了多种化工对象的动态模型, 静态模型, 精度是足够高的。S.R.Chu^[19](1990)用Hopfield模型辨识线性动态系统参数, 文^[20]使用概率神经元PNN网络辨识所有模式类的概率密度函数。一家化学公司建立了精馏塔模型^[20](Casimir, C. 1991), 模型投入工作三个月后, 得到一个新的操作点, 提高年经济效益50万美元。美国Texas, Eastman Co. 利用ANN改善工厂操作条件, 使一个工厂年操作费用少三百万美元, 该公司利用历史操作数据, 训练网络, 然后预测不同操作参数下的产品质量, 然后在保证产品质量与产量的同时, 将某种添加剂用量减少1/3。文福栓^[22](1992), 用ANN实现了电力系统机组最优组合。

五、基于神经网络的故障诊断技术^[21]

神经网络进行控制系统故障诊断, 可有两种形式。第一种是离线诊断。是一种是“有导师”的学习, 其学习过程和使用过程是分开的, 当控制系统出现故障时, 把故障信息或现象输入神经网络, 神经网络通过自组织与自学习, 输出合理解决办法, 然后去维修系统。给神经网络存入大量样本, 神经网络即对这些样本进行学习, 当 n 个类似样本学习后, 把它们归为同一类的极值分布。

第二种是在线诊断。这是一个“无导师”学习过程, 神经网络与控制系统直接相连, 让其自动获取故障信息及现象, 然后由神经网络内部去自组织自学习, 学习过程与使用过程合二为一。这对经常输入信号不敏感, 没反应, 对新奇输入很灵敏, 于是当系统突发故障时, 神经网络马上进行学习, 组织, 于是不同类型故障就被学习后归类, 当同种或相似故障再次出现时, 神经网络可进行诊断了。

六、研究工作的展望

神经网络在系统与控制领域的应用研究已大面积展开,以上仅是评述了现阶段的应用状况,作者认为大致有以下几方面工作值得进一步研究。

(1) 研究一种高速有效的样本滤波器。神经网络是基于样本的学习,工业现场采集的数据往往是受到各种污染的信号,为使上述各种基于神经网络的控制系统控好真实系统,神经网络学习的控制规律和建立的模型真实可靠,就必须获得真实可靠的样本数据。目前,在控制领域采用的大都是反向传播(BP)模型,分析这种模型仅是一种映射的模型,而获取样本滤波器的可能途径是采用双向传播记忆(BDM)和自适应共振(ART)等具有较好记忆功能的动力学模型,学习记忆正常工况下的样本数据,辅以模式识别等人工智能技术,滤掉噪声干扰,以便高速地有效地在线滤波。可以预见,这种滤波器的开发成功,必将大大促进自适应控制,神经控制器运用。这样也就解决了在自校正控制系统中确保神经网络模型收敛于真实系统。

(2) 经典控制系统中动态响应性能与稳定性是一对矛盾。目前神经控制器仍用经典反馈控制思想,追求设定值跟踪。实际上神经网络中可调参数较多,因此我们可研究一种算法兼顾稳定性与控制系统动态响应性能。

(3) 把现有传统控制算法“神经网络化”,以便于随着芯片技术的发展,能更快更好地应用于实时在线控制。

(4) 神经网络与传统AI方法及Fuzzy集运算的结合(它们之间的接口,总体设计及评价方法)。

(5) 找到一种判定方法或神经网络控制系统结构,确保引入神经网络之后闭环系统的稳定性。

(6) 更广泛地开发应用于建模、优化的网络模型,力求精度高。可以坚信,神经元网络工程应用前景是无法估量。

参 考 文 献

- [1] Richard, P Lippman, "An introduction to Computing With Neural Nets" IEEE Assp Magazine, April 1987
- [2] Special Section On Neural Networks for Systems and Control, IEEE Control System Magazine, April 1988
- [3] Proceedings of IEEE First International Joint Conference on Neural Network, San Diego, California, 1987
- [4] Proceedings of IEEE International Joint Conference on Neural Network, 1989, 1991
- [5] 神经元网络及其应用学术讨论会论文集, 1989
- [6] 中国神经网络理论大会论文集, 1990
- [7] B. Bavarian, "Introduction to Neural Networks for Intelligent Control" IEEE CSM, vol. 8, No2, 1988
- [8] D. Nguyen, and B. Vidrow, "Neural Networks for Self-Learning Control Systems" IEEE