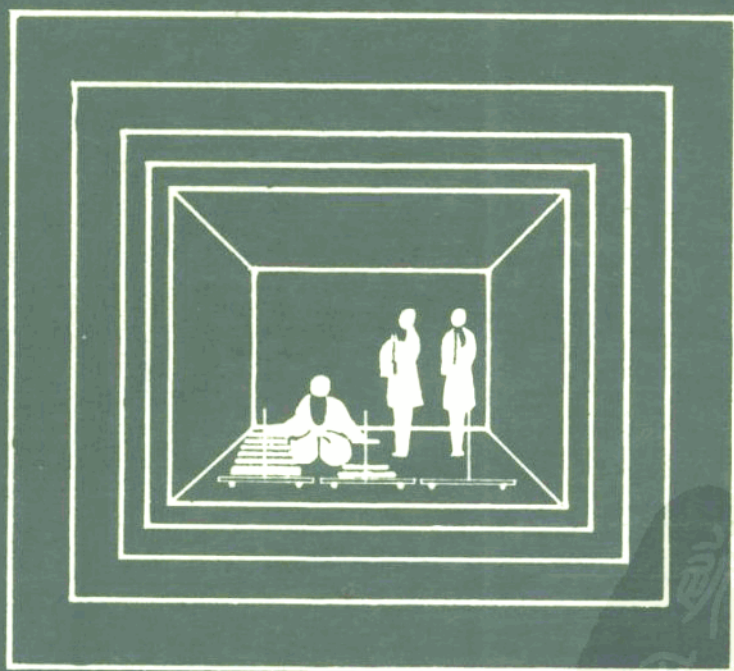


中国第三届知识工程研讨会论文选集

知识工程进展 1990

许卓群 主编



NCKE-90

中国地质大学出版社

出版说明

1988年12月26日智能软件学组在厦门举行学组成员会议，与会者根据第二届全国知识工程研讨会会议情况和国内知识工程研究的进展，认为有必要也有条件在召开第三届全国知识工程研讨会时继续编辑出版会议论文选集，向国内外公开发行，以便及时地向学术界报道和介绍中国知识工程研究的最新成果和国内外知识工程研究动态。

《知识工程进展(1990)》系按照高级学术刊物(学报级)的审稿程序在二审的基础上，由第三届全国知识工程研讨会程序委员会召开联席审稿会遴选后编辑出版。根据论文题目与审稿人研究方向一致的原则，每篇稿件同时由非同一单位的两名学者分别审稿，使用统一的稿件审查意见书和稿件审查通知书，委员会秘书负责对审稿人姓名严格保密。《知识工程进展(1990)》的入选论文由作者按审稿意见修改，经文集专题编辑复审后编辑加工(学组挂靠单位——中国科学院数学研究所投寄的论文由许卓群先生按审稿程序组织审查并保存稿件审查意见书)。为了发扬学术民主的精神，严肃公正地把好质量关，真正做到对每一位投稿者的稿件认真负责，联席审稿会只对有较大争议的稿件作出终审裁决，而对其它稿件主要是根据审稿人的审稿意见取舍。今年，国内许多学者参加了论文评审工作。虽然如此，会议论文集审稿仍有可能遗漏非常优秀的论文，我们欢迎大家公开评论。

《知识工程进展(1990)》入选论文的标准是：

1. 理论论文，应力求严谨、完整，有创造性并有相当难度；
2. 工程论文，应力求设计新颖合理、有创造性并有相当难度；
3. 综述论文，应力求全面、深入地分析现有的工作，能提出新的观点和见解，并对今后的研究工作产生重要影响；
4. 应用技术报告，应力求包括实例分析和与国内外同类研究工作的对比分析。

第三届全国知识工程研讨会会议录用论文分大会30分钟报告，分组15分钟报告和不报告交流论文，其中，30分钟报告和15分钟报告论文选入文集。这次论文评审工作由于贯彻执行了严肃、认真、科学、公正的审稿程序，使论文审稿意见具有了相当的可信度和权威性。我们相信，公开审稿程序和说明审稿过程将是有益的。在1990年4月11联席审稿会上，程序委员会决定成立编辑小组并负责论文集有关内容的编辑。在主编的领导下，认真地开展了各项工作编辑小组，全体编辑小组成员对论文集的编辑质量负有不可推御的责任。

第三届全国知识工程研讨会由中国计算机学会软件专业委员会智能软件学组主办，中国人工智能学会知识工程专业委员会和中国软件行业协会人工智能协会协办，四川大学、成都科技大学和中国科学院成都计算机应用研究所承办。借此机会，我们向所有支持第三届全国知识工程研讨会的单位和个人表示衷心的感谢！

第三届全国知识工程研讨会程序委员会

1990.4.30. 北京

第三届全国知识工程研讨会会议组织机构

第三届全国知识工程研讨会会议主席：孙怀民（北京航空航天大学）

第三届全国知识工程研讨会会议秘书：吴建敏、赵致琢（中国科学院数学研究所）

第三届全国知识工程研讨会程序委员会：

主席：许卓群（北京大学）

委员：

何志均（浙江大学）

刘大有（吉林大学）

许卓群（北京大学）

石纯一（清华大学）

陈世福（南京大学）

陆汝占（上海交通大学）

张一立（四川大学）

冯玉琳（中国科学技术大学）

裴 珉（北京自动化工程学院）

王树林（中国科学院计算技术研究所）

刘尊全（中国科学院计算中心）

陆汝铃（中国科学院数学研究所）

陶葆兰（华中理工大学）

刘榕年（北京工业大学）

胡运发（国防科技大学）

何华灿（西北工业大学）

俞瑞钊（浙江大学）

李应潭（中国科学院沈阳自动化研究所）

第三届全国知识工程研讨会组织委员会：

主席：张一立（四川大学）

委员：

墙芳躅（中国地质大学）

唐常杰 张一立（四川大学）

刘国衡 李丽珍（成都科技大学）

廖春忠 文德生（四川省计算机学会）

《知识工程进展（1990）》编辑小组：

主编：许卓群

组员：许卓群 赵致琢 张华杰 张建钢 刘会廷

目 录

智能控制系统 (特邀报告)	戴汝为 (1)
新的非线性系统预测控制及其应用	胡泽新 蒋慰孙 (9)
分布式人工智能进展 (特邀报告)	吴益民 苏伯珙 石纯一 (17)
集合程序设计语言的实现	沈宁川 (25)
基于重写技术和面向对象结构的 AI 基础语言 ROOT	王怀民 陈火旺 (35)
论函数逻辑式语言	王 卫 王树林 (45)
AI 语言的基本计算机制	陈晓桦 陈火旺 (53)
知识程序设计语言的研究与进展	胡运发 陈火旺 (63)
KDOPS: 基于 LISP 的人工智能语言	李 京 冯玉琳 黄 涛 (71)
一种新的逻辑程序自动模式识别方法	曹 鹏 胡守仁 (79)
约束逻辑程序设计 CLP	陈晓斌 刘凤岐 (87)
面向多推理者系统的逻辑框架—MRSL	王献昌 (97)
一种基于片段的时态逻辑及其应用	陈文丹 招兆铿 (107)
非单调逻辑的统一基础	林作铨 (115)
信念函数合成的证据独立性条件	许卓群 陆钟辉 凌小宁 (127)
二维的智能系统开发方法论—KBSDCP	吴朝辉 何志均 (135)
ESCER 的求解机能	冯方方 (143)
染色体识别专家系统的实现	严宜理 (155)
通用规则型专家系统开发环境 RESDE 的设计与实现	赵 军 施颖东 (167)
机器发现逻辑 (特邀报告)	孙怀民 (175)
自动书本知识获取系统 TKAS	周 青 王树林 迟忠先 (189)
分类式学习搜索算法 ID-PCLS 及其并行化	蒋建东 俞瑞钊 (195)
类比方法的解题逻辑	徐立本 (203)
智能工具机系统结构	王 朴 张晨曦 胡守仁 (211)
并行推理机 RAP/LOP-VAM 模拟实验系统和性能评价	高耀清 等 (221)
智能软件分析工具 ANAT 的设计	肖育东 (229)
一个基于确定性分析的汉字分析器	候广坤 邓卫安 (239)
自然表格查询语言	张敬国 须 德 (247)

智能控制系统

戴汝为

(中国科学院自动化研究所)

摘要 本文在对各种系统进行分类的基础上,从最近提出来的开放的复杂巨系统的观点来讨论当前国内外都比较关注的智能控制系统。对智能控制这一新学科作了清楚的论述,并通过人工智能的发展来说明智能控制的难点以及人机交互系统与社会系统等问题。

一、引言

“智能控制系统”这一概念是美国 K. S. Fu(傅京孙)教授于 70 年代初提出来的^{[1][2]}。早在 1965 年他提出把人工智能的启发式推理规则用于学习系统,1971 年他与他的同事在对几个与自学习系统有关的领域进行研究后,为了强调问题求解与决策能力,采用了“智能控制系统”来概括这些领域中所面临的系统。K. S. Fu 在国际上曾以句法模式识别工作而著称,早期是从事自动控制方面的工作,他是最早理解到人工智能与自动控制的交叉关系的人。到了 1989 年在底特律举行第十一届国际人工智能联合会议时^[7],人工智能与系统科学相结合不但是众所周知,而且已经取得了丰硕成果。

关于智能控制开始形成一个新的学科,它的标志是 1987 年在费城举行第一次国际智能控制会议。许多原来从事自动控制系统或自动控制理论的工作者,进一步探索了自动控制与其它领域的交叉及交叉发展的关系,提出了自动控制、人工智能、运筹学相结合或自动控制、人工智能、运筹学和信息论相结合的这一论点^{[6][9]}。

自动控制系统是一类系统,而系统在自然界和人类社会是普遍存在的。人造系统与人参予在其中的系统是很不一样的。以往在工程领域内的人造系统大致可归结为控制系统与信息系统两类,但两者之间并不能截然分开。早期的控制系统是以某一种物理对象或过程作为被控制对象,然后再设计某种控制回路,利用反馈等手段来形成闭环回路系统,在这种系统中对象及系统可以用定量的方法如用各种形式的微分方程来加以描述或进行模拟,所以系统的行为即系统状态随时间而变化是至关重要的,强调的是系统的动态性能。但这类控制系统比较“僵化”,没有适应环境变化的能力,所以以后进而发展到最优控制系统、自适应控制系统等,并为研究控制系统建立了经典的控制理论与现代控制理论。另一类是信息系统,这是随着计算机的发展,可以用计算机来进行信息处理而形成的系统,如图象处理、模式分类系统等,通过光电扫描把图象送入系统,系统的输出也是一幅图象。例如一幅有噪声、模糊不清的图象,经过系统处理后变成了一幅去掉噪声而且清晰的图象。在这样的系统中,是通过一些运算来对图象的基本单元像素进行运算,强调的不是系

系统的动态特性,也不一定是闭路系统,而是模式信息处理。一般而言,控制系统或信息系统几乎都是一个与外界不发生关系的系统,也就是自成一体的封闭式系统。

人类经过长期的生产实践和社会发展,已经比较成功地做到用机器来代替体力劳动的职能,花样繁多的机械装置和早期以弱电信号对强电及机械装置的控制所构成的自动控制系统,大大减轻了人的体力劳动。但人们又看到上述人造系统的局限性,于是致力于研究用机器来代替人的脑力劳动,研究模拟智能的人工智能。这是件非常困难的工作。当前人工智能与人的智能间的差距还太大,但人们对智能技术寄予的期望很大,所以“智能控制系统”的研究自然又引起人们的关注。关于智能控制的一般的说法是在原来控制系统的基础上加上一两个“智能”环节,或者对于控制对象的情况了解甚少的情况下,采用人工智能或知识工程中提出的方法与技术来构成控制系统,或者把以往的控制系统的概念上加以拓宽,认为系统由组织级、协调级和执行级三级组成。组织级以知识表达及知识处理的方式反映了系统的主导思想,属于一个人工智能的环节;协调级的作用是连接组织级与执行级;执行级是最低层次,与一般控制系统的执行机构相类似^[9]。可以看出,以往关于智能控制系统的说法由于受传统自动控制系统的影响,所以未能给出一个清楚的描述,更重要的是不清楚主要问题之所在,以及应该着重从哪些方面来进行研究。这里以不久前刚刚提出的开放复杂巨系统及其方法论^[5]的观点对智能控制系统、人机交互系统以及社会系统进行了讨论。阐明智能控制系统是一类人机交互系统,属于开放复杂巨系统的范畴。人工的智能控制系统是对开放的复杂巨系统的一种近似。

二、系统的分类与开放的复杂巨系统

分析所遇到的各种系统,概而言之,不外乎自然系统以及人所制造出来的人工系统两大类。再进一步,根据组成系统的子系统种类的多少和它们之间的关联关系的复杂程度又可以把自然系统和人工系统的每类再分为简单系统及巨系统两类,即:

1. 简单系统

组成系统的子系统数量比较少,子系统之间的关系比较单纯。如一个温度控制系统就是一个简单系统。

2. 巨系统

组成系统的子系统数量非常大,成亿、上百亿、上千亿等。如果系统中子系统的种类不太多,而且它们之间的关系又比较简单,则称为简单巨系统;如果子系统的种类很多,并且有层次结构,子系统之间的关系又很复杂,即称为复杂巨系统。如果系统又是开放的(开放是指系统与系统中的子系统分别与外界有各种信息交换),系统中的各子系统能够通过与周围环境的交互作用而增加适应的能力,这种系统就称为开放的复杂巨系统。例如生物体系统、人脑系统。

人脑系统大多数的人造系统都是简单系统,如一般的控制系统或信息系统,而且不具有开放性,就是自动化工厂也只不过是人工的大系统而已。至于开放复杂巨系统,无论在结构、功能、行为方面都很复杂,以至于到今天还有大量问题我们并不清楚。上述的分类可以表示成图1所示的形式。

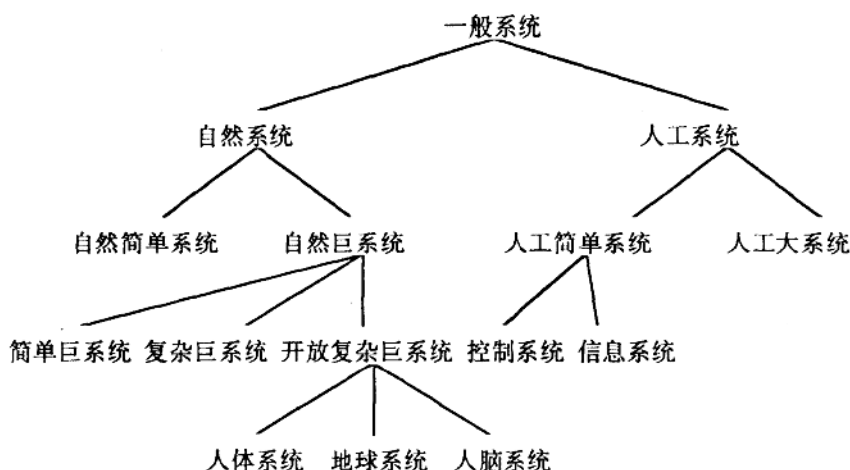


图 1

如果一个系统中包含人作为子系统，系统中的某些决策与控制或识别等功能是通过人脑来完成，例如用人来对一个简单的对象进行监视或控制，由于是靠人脑起作用，表面上看起来系统的结构很简单，实际上这样的系统已经属于开放复杂巨系统的范畴，通过人脑具有高度的开放性，虽然系统的功能未必高明，但从性质上来说与一般的人工系统有本质的区别。

图 1 的分类方法主要是为了把问题说清楚，实际上许多系统是自然系统和人工系统组合而成的系统。尤其，人和由人制造出来的计算机都作为系统中的主要组成部分，这时所构成的人机系统就是人工系统和自然系统中的人脑系统相结合的一种系统。总之，可以认为智能控制系统是人工简单系统、人工大系统与人脑系统组合起来而构成的系统，是开放的复杂巨系统。

三、智能控制系统

通过以上讨论，我们可以把人脑系统与人工系统两者结合起来而构成的系统称之为“智能系统”，这里说的“智能”是指人具有的智能行为。人工系统中两种简单的系统分别为控制系统与信息系统，所以很自然地把人作为系统中的一个子系统时就形成智能控制系统与智能信息系统。应该强调的是，有人参加的系统已经是开放的复杂巨系统而不是简单系统了，尽管人在系统中也许起的作用似乎并不十分明显。如果我们对历史进行回顾，1971 年傅京孙教授在“学习的控制系统与智能控制系统”中所论述的三个智能控制领域是：(1) 以人起控制装置作用的控制系统有关领域；(2) 以人机交互方式起控制装置作用的控制系统有关领域；(3) 自主 (autonomous) 的机器人系统有关领域。前两个系统都是人直接参与到系统中。这样的智能控制系统，它的特点没有得到充分的说明与表达。对于自主的

机器人系统，是一种人不直接参予的系统，但设计者期望这样的系统具有某种智能行为。其实，对于第（1）、（2）两个领域，很自然地会提出这样的问题：是否能用一个人造的子系统来代替人这个子系统，形成不用人参予的自动控制系统。实际上就是模拟人的智能行为，这就是人工智能领域中所追求的目标，也就意味着将系统科学与人工智能相结合。用人工子系统来代替人所形成的系统，说得确切一些，是“人工的智能控制系统”。按照图1的分类，这一类型的系统属于人工系统，就目前人工智能所取得的成就及计算技术的水平，只是属于简单系统的范畴，例如对炼铁炉的控制可以通过有经验的老工人对火焰的观察以及老工人的经验知识加以控制。目前已经可以利用知识工程中的结果，研制一个专家系统来代替老工人，再配合一些观察和检测火焰信息的仪表，就形成一个人工的系统。

1.按照系统的分类，我们可以归结出如下结论

- （1）智能控制系统是一类人机交互系统，属于开放复杂巨系统的范畴。
- （2）人工的智能控制系统属于简单系统的范畴，因为人脑的复杂程度现在是无法人造的。
- （3）实现某种人工的智能控制系统实际上是以简单系统来实现对开放复杂巨系统的某种近似。

上述的第三点对于智能控制的研究有重要的意义。谈到近似就面对着近似程度好坏的问题。随着对所要达到的目标，即对开放的复杂巨系统及其方法论的了解越深入，那么对如何才能使近似程度较好就会有所启迪与帮助。

2.从开放的复杂巨系统的观点，用人工的子系统来近似人脑系统的小部分功能，以下几点值得注意

（1）模型的建立；以往自动控制领域内的系统模型，往往是定量模型，要为人这样的子系统建立模型，是极为复杂的问题，看来只能是一种定性的模型，所以不仅要研究定量模型，还要着重研究定性模型，并解决不同模型之间的互相作用问题。

（2）高度的开放性；只有系统与系统中的子系统能够与周围环境进行信息交换，具有一定程度的开放性，并能通过学习获取知识，并改变系统的结构，这样的系统才能变得灵活和具有适应的能力。

（3）推理与直感；系统是知识型的系统，系统中的某些子系统具有能利用知识和进行推理的功能，以及某种类似于直感的功能。

总之，人工的智能控制系统的设计应考虑到系统必须是开放的、具有一定知识信息处理能力的系统。

3.通过以上讨论，可以明确地把智能控制系统分成两种类型

- （1）属于人机交互类型的智能控制系统，让机器做人的助手。
- （2）作为智能控制系统的一种近似的人工智能控制系统，让机器做人的高级助手。

四、智能的模拟

人工的智能控制系统研究中的核心问题是根据对系统的要求，如何用人工的子系统来模拟人脑的智能行为以达到系统的设计要求。这与人工智能领域中所追求的目标没有什么

区别,只不过前者把智能行为限制在巧妙地起到控制作用的狭窄范围内而已。可以说系统设计中的焦点在于“智能”上,而系统结构等是随之而派生出来的问题。人工的智能控制系统的研究与人工智能是紧密联系而无法分开的。近30十年来人工智能发展中的教训也是研究人工的智能控制系统时应吸取的。

1.从宏观上对人类智能行为进行模拟概而言之就是模拟人的思维活动

人工智能也就是用计算机来模拟智能行为的研究领域,早在1956年证明了罗素《数学原理》中的38个定理;同年塞缪尔等编制了一套下棋的程序,并在1962年打败了一个跳棋的冠军;1960年研制出用于符号处理的计算机语言等。面对这些工作,当时有的专家就给出了乐观的估计^[8]并预测:

- (1) 十年内数字计算机将是世界冠军;
- (2) 十年内计算机将证明一个未发现的重要的数学定理;
- (3) 十年内数字计算机将谱写具有美学价值的而为批评家所认可的乐曲;
- (4) 十年内大多数心理学理论将采用计算机程序的形式。

这些预言至今未见任何希望,而进一步发展下去又出现更多困难。以人的智能行为作为参照,那么可以说人工智能30多年来取得的成就甚微。即使在人工智能发展史上被说成有突破性的进展,但与人的智能行为相比也谈不上有什么成就。至于人工智能中的知识工程已经有了许多应用,十分引人注目,但分析现有的专家系统,实际上只是一种简单的系统,其功能与作用根本尚无法与开放复杂巨系统相比。一些专家们越来越感到“人工智能问题是科学中所遇到的最难的一个”。1988年底,在东京举行的日本五代机会议上,美国的司马贺应邀在会上报告,一开头就说了一段意味深长的话^[10]，“从一开始,人工智能和认知科学的工作者就因过分的乐观而受人指责。我希望,我们已为某些乐观而感到内疚了。而对于一个经历了30年历程才走到今天这一步的一个领域来说,我也不认为这种指责和内疚是过分的”。人工智能之所以走过这样的路与当时的人们对思维与智能认识不足,对用机器模拟人的智能行为的艰巨性认识不足,而主要是对人脑的超级复杂性认识不足,而近年来脑科学取得的进展说明人脑好比是 10^{12} 台Cray巨型计算机并联起来的网络!因此没有下极大的功夫进行基本问题的研究,这与指导思想上的错误有关系。对于人工智能的研究,当然也是对人工的智能控制系统的研究,踏踏实实地在理论方面下功夫是十分必要的。我们主张人工智能的发展应走理论与实践相结合的道路;既要通过大量实践,解决具体的实际问题,又要建立理论以指导实践,这是马克思主义哲学指导下的唯一科学道路。

2.模拟智能的研究有着广泛的应用前景

模拟逻辑思维和形象思维,并不是以人脑的物质基础为起点,即走脑科学的道路,虽然好象这条道路是最根本的。目前人们对大脑的认识还很有限,过去脑科学家们把占脑一半以上的神经胶质细胞忽略不考虑,只注意到神经元,现在发现原来胶质细胞也有重要作用,可见对于脑连其基本结构和其组成部件之间的相互作用还不清楚,所以现阶段还不能作为研究思维和模拟智能的基础,只能从思维科学的观点,靠我们从宏观上猜测思维现象,建立一些对思维的猜测模型,用思维科学内部的一些方法来研究、建立模型。正象研究物质结构当然可以深入到基本粒子、夸克,但多少年来化学还是化学,不必越过学科划分,进入基本粒子物理学的领域,也不必把所有的基本粒子都研究清楚后才能开始化学的

五、人机交互系统

在计算机技术的发展已经取得辉煌成就的今天，计算速度达到每秒亿次，并且具有推理功能，推理功能达到每秒几千万次而且有较方便的人机接口的计算机工作站已经是不难得到的商品了。但计算机作为一个系统所具有的开放性仍然是很差的，通过程序进行学习的能力很差，不能向周围环境中获取知识，更不要说象人那样能利用知识了。

计算机充其量只是一个大系统，但计算机有它的长处，如计算速度和推理速度之高是人望尘莫及的。现在已经越来越清楚，盲目的追求自动化，一切都要求机器来完成，既不现实也不合理。合理的设想是既发挥人的长处又发挥计算机的长处，由人和机器来共同完成所需要达到的某种目的，这种构思已为实践所证明是行之有效的。人机交互系统比起早期所说的那种以人作为子系统起控制作用，或以人机交互方式起控制作用的系统来说，已经大大地拓宽了。可以设想，在一个人和计算机协调进行工作的系统中，一些繁重的推演和计算，或者可以形式化地加以解决的事务，由机器来定量地加以解决，而人则利用人脑具有高度开放性和知识处理等功能，在一些支持环境的帮助下，在关键之处给予定性的决策和处理。人与机器互相弥补，充分发挥各自的长处，要做到这一点，还需要人和机器互相靠近，也就是说要求人比较容易与机器进行通讯与交流信息，这就需要方便的人机接口。以往最一般的人机通讯是利用键盘输入，通过程序来实现人机通讯。在软件工程方法方面，人与机器对话这一子系统是作为软件的一个模块来加以设计使用户接口的设计与应用程序的设计分开，具有独立性。如果面对大量的用户，那么如何设计好这一模块就需要考虑大量的人的因素（Human Factors）问题。实际上那是人向机器靠近，机器的开放性太差。为了使机器向人靠近，变得开放一些，就要加强人机接口的功能。对人来说，用图形式图象信息是很自然的事，所以采用模式识别技术，使机器能识别图形、文字、声音，或理解汉语等自然语言，并能以图形、文字、声音及自然语言作为输出，这样才能形成灵活而又和谐的系统。这样的系统是典型的智能系统，属于开放复杂巨系统的范畴，它的性能比简单巨系统要强得多，是最有发展前途的系统。现在已经很清楚地看到研究开放复杂巨系统及其方法论的重要意义。建立开放复杂巨系统的理论，实际上也就奠定了人机交互系统的基础。

人机系统可以用来解决各种问题，对于一个小的问题，由一个人与一个计算机构成的系统就可以解决。在处理复杂的问题时，当然不局限于一个人、一个计算机的系统。对于具有许多人、许多计算机构成的系统，人和人、人和计算机、计算机和计算机之间都存在着通讯和相互作用的关系，互相间的作用是错综复杂的。前面已经谈过，在现有的计算机上，采用一定的程序也可以形成一种智能系统，例如专家系统就是一个例子。所以，这样的系统也可以考虑为一个多少具有点智能行为的单元。

近年来人工智能领域中一个新的分支——分布式人工智能（Distributed Artificial Intelligence，简称 DAI）就是研究有多个作用单元（agent）的情况下，作用单元之间的通讯、相互作用以及协调运行以达到预定的要求等有关问题，至于除了利用知识工程中的一

些结果外,还提不出系统的方法来研究分布式的人工智能系统。如果把人考虑为一个作用单元,把计算机加上相应的软件所构成的专家系统也考虑为一个作用单元,大量这样的单元构成的系统就是社会系统。由于人本身就是一个开放的复杂巨系统,由人作为子系统构成的社会系统就成为一个层次更高的系统,我们称之为开放的特殊复杂巨系统。我们知道,系统科学思想的一个重要内容是处理复杂行为的定量方法学,是科学理论、经验和专家判断力的结合,是半经验半理论的,就建立系统或系统中的子系统的模型而言,首先由专家提出经验性的假设(猜想或判断),这不能用严谨的方式加以证明,但可以用经验数据检验是否正确。从经验性假设出发,通过定量途径获得的结论,仍然属于半经验半理论。在人们用定量方法处理复杂系统时容易注重于数学模型的结构与逻辑表达,而忽视数学模型微妙的经验含义或解释,表面上看来“理论性”很强,其实往往牵强附会,不能反映真实情况。与其如此,倒不如从建模的一开始就承认理论不足,而求授于经验判断,让定性的方法与定量的方法结合起来。能够加以形式化上升为理论的东西就可以用计算机来处理。经验性的假设、半经验性的东西难以形式化,或者根本不能形式化,只能靠人来解决,这就必然要采取人机交互系统来实现。不仅对于数学模型的建立是这样,已经通过实践概括出能有效处理开放的复杂巨系统(包括社会系统)的方法就是定性、定量相结合的综合集成方法。这个方法就其实质而言,是将专家群体(各种有关的专家)、数据和各种信息与计算机技术有机地结合起来,把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来,这三者本身也构成一个系统。这种方法的应用就在于发挥这个系统的整体优势和综合优势。我们还可以进一步理解所谓定性的东西,即现在的各式各样的“专家系统”,综合集成则靠人来综合这些“专家系统”,也就是变成定量的、更完善的智能。这种智能还有不足,又要靠人。定性、定量相结合的综合集成方法需要通过人机交互的方式来实现,对人机系统的运行起着指导作用,从而保证系统达到所期望的性能或给出合理的结论。很明显,定性、定量相结合的综合集成方法是研究智能控制系统的有效方法。

致谢:本文中的一些看法是在与钱学森同志讨论的过程中逐步明确起来的,钱学森同志审阅了初稿,提出了许多宝贵意见,作者谨表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] K. S. Fu et al, A Heuristic Approach to Reinforcement Learning Control System, IEEE. Trans. Vol AC-10 No. 4 (1965).
- [2] K. S. Fu, Learning Control Systems and Intelligent Control Systems: A Intersection of Artificial Intelligence and Automatic Control, IEEE. Trans. Vol AC-16 No.1 (1971).
- [3] 钱学森,关于思维科学,上海人民出版社(1986)。
- [4] 钱学森,于景元,戴汝为,一个新科学领域——开放的复杂巨系统及其方法论,《自然杂志》,1990年第1期。
- [5] 尹红风,戴汝为,论思维与模拟智能,《计算机研究与发展》,1990年第1期。

- [6] 张仲俊, 蔡自兴, 智能控制与智能控制系统, 《信息与控制》, 1989年第5期.
- [7] 戴汝为, 《第十一届国际人工智能联合会议简介》, 《模式识别与人工智能》, 1989年第4期.
- [8] H.L.德雷福斯, 计算机不能做什么, 生活·读书·新知三联书店, (1986) .
- [9] G. N. Saridis, Toward the Realization of Intelligent Controls, Proc. of IEEE Vol.67 (8), (1979) .
- [10] H. A. Simon, Prospects for Cognitive Science, Proc. International Conference on Fifth Generation Computer Systems (1988).

Intelligent Control System

Juwci Tai

Institute of Automation, Academic Sinica

Abstract

Based on classification of various systems, and from the point view of open complex giant system, a clear description for Intelligent Control System is given in this article. In addition, the main difficult problems of Intelligent Control, man-machine interactive system and social system are also discussed.

个人简历

戴汝为, 1950年毕业于北京大学, 1980-1982年在美国普渡大学访问研究, 现为中国科学院自动化研究所研究员, 国家高技术“智能计算机”主题专家组成员, 国家智能计算机研究开发中心学术委员会主任, 国际句法、结构模式识别委员会委员, 从事模式识别、人工智能方面的研究工作。

新的非线性系统预测控制及其应用

胡泽新 蒋慰孙

(华东化工学院自动化研究所)

摘要 本文提出了一种新的非线性系统预测控制方法——基于模式识别的智能预测控制方法。提出了非线性系统基于模式识别的预测模型，参考轨迹参数整定和输出预测闭环校正的专家系统方法，滚动式模糊控制策略。以某合成氨反应器温度预测控制为例进行了仿真研究，结果令人满意。

一、引言

工业过程中存在大量的非线性系统，但到目前，实用有效的非线性控制方法还很少见。近年来出现的非线性预测控制方法^[1,6]是较有前途的一种方法。对于难以建立数学模型的复杂过程系统，以上方法则无能为力。为了克服这一不足，本文提出了一种新的非线性预测控制方法——基于模式识别的智能预测控制方法。该方法避免了建立数学模型和非线性寻优的传统途径，为在难以建模和难以寻优的场合实现非线性预测控制提供了可能。

二、基于模式识别的智能预测控制

基于模式识别的智能控制系统如图 1 所示。它利用基于模式识别 (Pattern Recognition, 简称 PR) 的模型对系统输出进行预测，采用滚动式模糊控制方法计算出控制作用，使输出预测值按照某一指标，尽可能接近输出参考轨迹，控制系统输出平滑，快速地到达设定值。

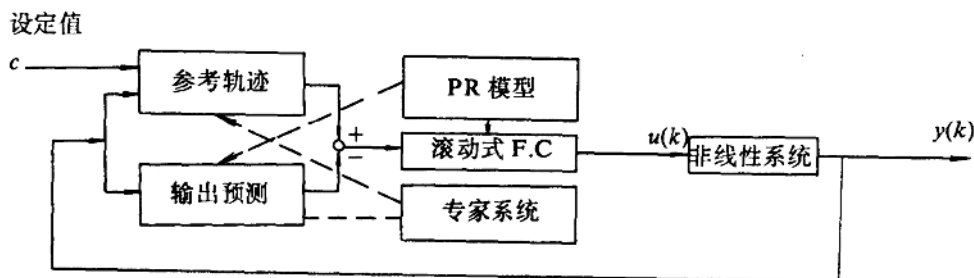


图 1 基于 PR 的智能预测控制系统

1. 基于模式识别的预测模型

对于难以建立数学模型的复杂系统, 可以用模式识别来描述其动态特性, 我们也可称其为一种广义知识模型即 PR 模型. 建模步骤为: (1)模型的特征抽取; (2)模式类表示的建立和模式分类; (3)模式的学习.

考虑如下的一维离散非线性系统:

$$x(k+1) = f(x(k), u(k-d)) \quad (1)$$

$$y(k) = g(x(k), u(k-d)) \quad (2)$$

$$x_{\min} < x < x_{\max}, u_{\min} < u < u_{\max}, y_{\min} < y < y_{\max} \quad (3)$$

其中 x 、 u 、 y 分别为状态变量、控制变量和输出变量; (1)式为状态方程; (2)式为输出方程; (3)式为约束条件. 在实际过程控制系统中, 通常存在各种物理约束, 它们可表现为输入约束、输出约束和中间状态约束, d 为纯滞后.

选取 $(x(k), u(k-d))$ 为特征变量, 将 $x(k+1)$ 在值域 $[x_{\min}, x_{\max}]$ 上划分成 m 个子区域, 将 $y(k)$ 在值域 $[y_{\min}, y_{\max}]$ 上划分成 q 个子区域, 设为

$$[x_{\min}^i, x_{\max}^i], \quad x_{\max}^{i-1} = x_{\min}^i, \quad i = 1, m;$$

$$[y_{\min}^j, y_{\max}^j], \quad y_{\min}^{j-1} = y_{\max}^j, \quad j = 1, q;$$

若将模式类的表示记为 $[\alpha_1 \dots \alpha_m]$ 和 $[\beta_1 \dots \beta_q]$, 则 (1), (2), (3) 式相应的动态特性的模式识别表示形式为:

$$x(k+1) = [\alpha_1 \dots \alpha_m] * [x(k) \ u(k-d)]$$

$$y(k) = [\beta_1 \dots \beta_q] * [x(k) \ u(k-d)] \quad (4)$$

式中 $*$ 表示分类过程, 即从所给的量测到的 $x(k)$ 和 $u(k-d)$, 通过分类方法求出 $x(k+1)$ 和 $y(k)$ 所属的子域 (即一个模式类), 式 (1), (2) 和 (3) 所示的动态特性在一定程度上就得到了描述, 动态特性的描述 (即动态模型的建立) 就转化为模式识别中的一个问题, 见图 2.

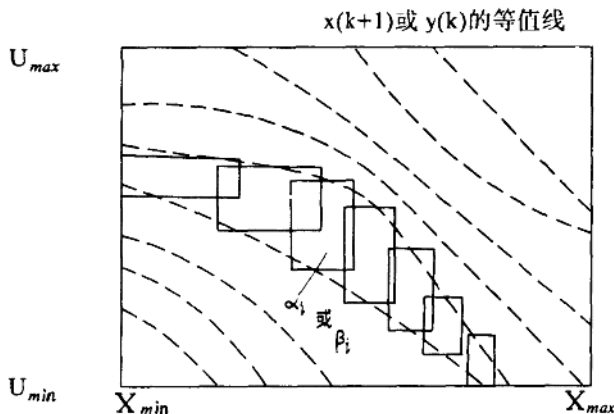


图 2 二维平面模式类表示示意图

在模式识别技术中, 模式类的表示及分类器的设计方法有许多种, 本文采用 Multi-Hyper Box (简称 MHB) 表示方法^[7], 及其相应的分类器.

从实际系统采集的作为样本模式的数据常常带有随机误差, 此外, 如果样本模式太多, 建立初始模式类表示的计算量会增加, 因而, 通过逐次学习提高估计的准确性是十分

必要的, 本文采用随机逼近学习。

2. 输出预测

设当前为 k 时刻, 要求对 $k+1$ 时刻到 $k+T_p$ 时刻的输出值进行预测。下式为 k 时刻 T_p 步输出预测的计算公式:

$$Y_p(k+j/k) = Y_m(k+j/k) + y(k) - Y_m(k/k) \quad j=1 \dots T_p \quad (5)$$

式中 T_p 为预估步数; $y(k)$ 为系统的实际输出; $y(k) - y_m(k/k)$ 为对输出预测值 $y_p(k+j/k)$ 的闭环校正。 $y_m(k+j/k)$ 和 $y_m(k/k)$ 由下式给出:

$$y_m(k+j/k) = g(x(k+j), u(k+j-d)) \quad (6)$$

$$y_m(k+j/k) = [\beta_1 \dots \beta_q] * [x(k+j), u(k+j-d)] \quad (7)$$

其中, $x(k+j)$ 由 (8)、(9) 式决定:

$$x(k+j) = f(x(k+j-1), u(k+j-1-d)) \quad (8)$$

$$x(k+j) = [\alpha_1 \dots \alpha_m] * [x(k+j-1), u(k+j-1-d)] \quad (9)$$

由于预估控制只使用当前步的控制作用, 另控制作用的效果主要取决于预估步数与控制步数的差值, 故可选择控制步数为 $l (l < T_p)$, 即有:

$$u(k+l-1) = u(k+l) = \dots = u(k+T_p-1) \quad (10)$$

由式 (7)、(9) 和 (10), 可推得 k 时刻 T_p 步输出预测公式为:

$$\begin{cases} y_m(k+T_p/k) = [\beta_1 \dots \beta_q] * [x(k+T_p), u(k+T_p-d)] \\ x(k+T_p) = [\alpha_1 \dots \alpha_m] * [x(k+T_p-1), u(k+T_p-1-d)] \\ u(k+T_p-1) = u(k+T_p-2) = \dots = u(k+l) = u(k+l-1) \end{cases} \quad (11)$$

以往的闭环校正方法对于复杂工业生产过程效果不甚好, 针对这一不足之处本文提出了一种新的校正方法——专家系统方法。

一般情况下预测输出 $y_p(k+j/k)$ 是模型输出 $y_m(k+j/k)$ 与校正项之和, 即

$$y_p(k+j/k) = y_m(k+j/k) + \delta(k+j) \quad (12)$$

可以根据 k 时刻实际输出 $y(k)$ 与模型输出 $y_m(k/k)$ 的偏差, 以及偏差变化率来推断 $k+j$ 时刻的校正量, 下面给出其专家系统:

(1) 数据库 存放 k 时刻实际输出 $y(k)$ 与模型输出 $y_m(k/k)$ 的偏差 $e(k)$ 和偏差变化率 $ec(k)$ 。

$$e(k) = y(k) - y_m(k/k) \quad (13)$$

$$ec(k) = e(k) - e(k-1) \quad (14)$$

(2) 知识库 存放推断 δ 的规则, 如

$$\text{if } e(k) = \text{NL and } ec(k) = \text{PL then } \delta(k+j) = \text{PL}$$

$$\text{if } e(k) = \text{PS and } ec(k) = \text{PL then } \delta(k+j) = \text{NL}$$

...

$$\text{if } e(k) = \text{PM and } ec(k) = \text{NS then } \delta(k+j) = \text{NM}$$

...

其中, $e(k)$ 和 $ec(k)$ 为 $e(k)$ 和 $ec(k)$ 的模糊量; δ 为 δ 的模糊量; NL, NM, NS 为负大, 负中, 负小; PS, PM, PL 为正小, 正中, 正大。将 δ 精确化才能得到所需的 $k+j$ 时刻的校正

项。如果用带修正因子的公式来描述以上规则, 则有:

$$\eta = \eta_0 \frac{|y(k) - y_m(k/k)|}{\Delta Y_{max}} + (1 - \eta_0) \frac{|[y(k) - y_m(k/k)] - [y(k-1) - y_m((k-1)/(k-1))]|}{\Delta Y_{max}} \quad (15)$$

即

$$\eta = \eta_0 \frac{|e(k)|}{\Delta y_{max}} + (1 - \eta_0) \frac{|ec(k)|}{\Delta y_{max}} \quad (16)$$

式中, Δy_{max} 为输出值的量程, 为满足 $0 < \eta_0 < 1$ 的修正因子, 校正项为:

$$\delta = \eta \cdot D \quad (17)$$

其中, D 是一个正的修正常数, 对于不同的过程控制系统, 它有不同的取值。

(3)推理机 本文采用正向推理。

3. 参考轨迹

对于随动调节问题, 一般采用一阶指数形式的参考轨迹。

$$Y_p(k+j/k) = \alpha^j y_p(k) + (1 - \alpha^j)c \quad j=1 \dots T_p \quad (18)$$

式中, $y_p(k+j/k)$ 表示在 k 时刻计算的 $k+j$ 时刻输出参考轨迹, c 为输出设定值, α^j ($j=1 \dots T_p$) 为参考轨迹常数, 它满足 $0 < \alpha^j < 1$, α^j 对控制系统的响应速度、稳定性和鲁棒性均有直接影响。目前已有的 α^j 分段取值方法, 不能连续地调整 α^j 的值。针对这一不足, 本文提出了一种新的方法——专家系统方法, 根据 y_p 与 c 差值及其变化率来调整 α^j 值, 不仅能自动调整 α^j 值, 而且可连续调整 α^j 值。与分段取值法比较, 该方法能更好地改善系统的品质。调整公式如下:

$$\alpha^j = \alpha_0^j \frac{|e_p(k)|}{\Delta Y_{max}} + (1 - \alpha_0^j) \frac{|ec_p(k)|}{\Delta y_{max}} \quad (19)$$

其中 $e_p(k) = y_p(k) - c$; $ec_p(k) = e_p(k) - e_p(k-1)$; α_0^j 为满足 $0 < \alpha_0^j < 1$ 的修正因子; Δy_{max} 为输出值的量程。

4. 控制策略

本文提出了一种滚动式 Fuzzy 控制方法, 可减少控制作用的在线计算量, 增强控制系统的鲁棒性。控制作用 u 为:

$$u = u(E, E_c) \quad (20)$$

式中, E 和 E_c 为由下式决定的偏差和偏差率:

$$\begin{aligned} E(k+j/k) &= y_p(k+j+d/k) - y_p(k+j+d/k) \\ E_c(k+j/k) &= E(k+j/k) - E(k+j-1/k) \\ j &= 0, 1, \dots, T_p \end{aligned} \quad (21)$$

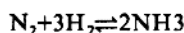
如采用带修正因子的 Fuzzy 控制器, 则有:

$$u(k+j) = \gamma^j E(k+j/k) + (1 - \gamma^j) E_c(k+j/k) \quad j=0, 1, \dots, T_p \quad (22)$$

式中, γ^j 为修正因子, $0 < \gamma^j < 1$ 。

三、合成氨反应器的预测控制

图3. 是一绝热式合成氨反应器, 具有较强的非线性特性. 合成氨反应器在加压下进行下列反应:



1. 假定条件

- (1) 径向浓度和温度梯度为零;
- (2) 拟均相;
- (3) 活塞流;
- (4) 整个反应器内压力恒定;
- (5) 浓度场拟定态;
- (6) 反应器绝热;

根据文^[8], 反应器的动态方程为:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{C_{oR} A}{22.4 N_{in} (1 + Y_{in})} R(y, T_b)$$

$$\frac{\partial T_b}{\partial \theta} + \frac{N_{in} C_{ph} (1 + Y_{in})}{\rho A C_{pc} (1 + y)} \cdot \frac{\partial T_b}{\partial l} = \frac{C_{oR} (-\Delta H_R) R(y, T_b)}{22.4 \rho C_{pc} (1 + y)} \quad (23)$$

2. 边界条件

$$y(0, \theta) = y_{in}, \quad T_b(0, \theta) = T_{b0} + T_{b,in}$$

进一步减化和降阶, 得到如下的一个优于线性化模型的双线性模型:

$$\begin{cases} T(t) = AT(t) + NT(t)u(t) + bu(t) \\ y(t) = CT(t), \quad t > 0, \quad T(0) = 0 \end{cases} \quad (24)$$

将式(24)离散化 ($T_s = 0.075$) 易得下方程:

$$\begin{cases} T(k+1) = AT(k) + NT(k)u(k) + bu(k) \\ y(k) = CT(k), k = 0, 1, 2, \dots, T(0) = 0 \end{cases} \quad (25)$$

3. 此处各系数矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} 0.50 & -0.15 & -0.03 & -0.01 \\ -0.52 & 0.89 & -0.11 & 0.02 \\ -0.47 & 0.42 & 0.89 & -0.98 \\ 1.13 & -0.88 & 0.97 & 0.48 \end{bmatrix} \quad N = \begin{bmatrix} -0.56 & -0.15 & 0.03 & 0 \\ 0.54 & -0.15 & -0.11 & 0.02 \\ -0.46 & 0.45 & -0.16 & -0.08 \\ 1.13 & -0.86 & 0.99 & -0.56 \end{bmatrix}$$

$$b = [-0.0079 \quad -0.0055 \quad -0.0043 \quad -0.0036] \quad C = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

特征变量选为 $[T(k), u(k)]$, 按 $T(k+1)$ 和 $y(k)$ 的值域划分模式类, 并从(25)式产生的作为样本模式的数据中建立初始模式类的表示 $\{\alpha_{ij}, j = 1, 2, \dots, 20; i = 1, 2, 3, 4\}, \{\beta_i, i = 1, 2, \dots, 20\}$, 由此得到(25)式的 PR 形式为:

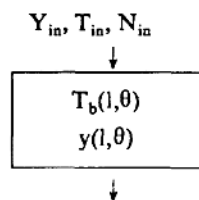


图3 合成氨反应器