

# 智能控制与智能自动化

Intelligent Control and Intelligent Automation

第一届全球华人智能控制与智能自动化大会论文集

Proceedings of The First Chinese World Congress

on

Intelligent Control and Intelligent Automation

补 卷

清 华 大 学

1 9 9 3

## 智能控制与智能自动化

Intelligent Control and Intelligent Automation  
第一届全球华人智能控制与智能自动化大会论文集  
Proceedings of The First Chinese World Congress  
on  
Intelligent Control and Intelligent Automation

## 补 卷

大会学术委员会 编  
责任编辑:李清泉 杜继宏 李春文  
清华大学印刷厂印刷  
北京 清华园  
邮政编码:100084  
字数:印数:1-650

1993年7月第一版 1993年7月第一次印刷

## 编辑委员会 (Editorial Committee)

### 主 编 (Chairman)

T. C. Hsia (夏天长)

### 副主编 (Vice-Chairman)

李清泉

### 编 委 (Members)

杨嘉墀	T. J. Tarn(谈自忠)	戴汝为
高为炳	李衍达	涂序彦
杜继宏	黄 琳	于景元
张 钹	李春文	杨叔子
周其鉴	孙增圻	胡维礼
贾欣乐	柯益华	王先来
郑文波	朱绍庐	冯元琨
李祖枢	刘宏才	罗公亮
孙德敏	吴宏鑫	徐孝涵
周立峰	李淑兰	

# 前 言

第一届全球华人智能控制与智能自动化大会在海内外华人专家和学者的共同努力下终于召开了。这是世界华人科技史上的一件大事,可喜可贺。

长期以来,无论是大陆还是台、港、澳以及海外智能控制和智能自动化界的华人专家、学者都有一个共同的愿望,那就是集中在这一领域中的华人精英,开一次面向现实、展望未来的科技盛会,为促进智能控制和智能自动化的发展,为推动中华民族的科学技术进步,为进一步提高华人在世界科学和技术界的地位做出贡献。

智能控制与智能自动化是自动化科学和技术的一个重要分支,在整个科学技术领域占有重要位置,其发展和应用得到了世界各国政府和专家、学者的高度重视。智能控制和智能自动化不仅会对自动化理论和技术的发展产生巨大的影响,对整个科学和技术的进步起积极的推动作用,而且将给国民经济带来可观的效益。

我们正处在世界科学和技术发展的一个非常重要的时期,即第二次科学技术革命的时期。这个革命最重要的目的就在于突破人类智力的局限性,不仅用机器代替人类从事各种体力和脑力劳动,而且还要大大地提高劳动效率和质量,从而把社会生产力发展到更高水平。

1985年8月,IEEE在美国纽约召开了第一届智能控制学术会议,1987年1月,在美国费城由IEEE控制系统学会与计算机学会联合召开了智能控制国际会议。近年来,智能控制和智能自动化又有了长足的进展,海内外的华人专家和学者在这一领域也已做了相当多的工作,取得了许多重要的成果。可以说,在这一领域的各个分支几乎都有华人在起领导和推动作用。本届大会本着交流学术思想,讨论未来研究方向的精神,为华人在世界科技界继续发挥重要作用打下良好的基础。

21世纪即将到来,希望此次会议能够成为有力地团结全球的华人专家、学者的起点,并使炎黄子孙在世界智能控制与智能自动化领域写下重要的一页。

大会总主席

谈自忠  


# 目 录

## 大会特邀报告

智能控制在国内的进展 .....	杨嘉墀 戴汝为 (1)
------------------	-------------

## 大会论文

On the Analysis of Machine Degradation Using a Neural Network Based Pattern Discrimination Model .....	<i>Jay Lee and Bruce M. Kramer</i> (9)
A Simulation Model for a Flexible Manufacturing System with Multiple Task—Flows and Transportation Control Using Modular Petri—Net Approach .....	<i>Tsai Chin—Jung and Fu Li—Chen</i> (25)
Outdoor Landmark Recognition Using Fractal Based Vision and Neural Networks .....	<i>Ren C. Luo, Harsh Pottapalli and David W. Hislop</i> (40)

# 智能控制在国内的进展

杨嘉墀

戴汝为

(中国空间技术研究院) (中科院自动化所)

## 摘 要

近年来国内由于两方面的工作促进了智能控制这一新兴学科的发展。一方面由于制定了一项国家高技术研究发展计划,在自动化技术领域有两个主题:计算机综合自动化制造系统和智能机器人都包括人工智能技术的应用,信息技术领域中有一个智能计算机系统的主题包括人工智能的基础理论和有关技术的研究。另一方面一些高等学校和科研单位在智能控制的理论与方法、专家控制系统、神经网络控制以及智能控制的实际应用等方面都进行了一些工作。本文将对上述两个方面的内容作一简要的介绍。

## 前 言

八十年代以来,人工智能与系统科学相结合形成智能控制的研究引起人们很大兴趣。当代高新技术革命的蓬勃发展使人们认识到,谁占有高技术优势,谁就会在激烈的国际竞争中取得主动地位。1986年3月4位科学家王大珩、王淦昌、杨嘉墀、陈芳允对跟踪世界战略性高技术向中央提出建议,得到极大关注与大力支持,以此为开端在国内由国家科委制定了一个“高技术研究发展计划”,即863计划。这项计划选择了7个领域15个主题作为计划的主要内容。其中自动化领域包括两个主题。1:计算机综合自动化制造系统(CIMS)。2:智能机器人。很明显这两个主题的研究内容与智能控制有着极为密切的关系。其中信息领域除了有关光电子器件和微电子、光电子系统集成技术及信息获取与处理技术的研究与开发以外,确定了一个“智能计算机系统”主题。这个主题项目支持人工智能与智能计算机的基础理论以及智能应用系统的研究,对国内智能控制的发展起了积极的作用。到目前为止863计划已实施了五年多的时间,已经取得了许多令人鼓舞的成果,并为智能控制在我国的进一步发展打下了稳固的基础。

另外,近些年来国内对系统工程,知识工程,系统科学、人工智能方面都给予了较大的关注,许多高等学校和科研单位对高新技术的重视程度随着国家改革开放的广泛、深入,也有所提高,在专家控制系统、人工神经网络的原理与应用、神经网络控制、智能控制的实际应用以及智能控制的理论与方法等方面都进行了许多工作,取得了一些可喜的成果,下面扼要地加以介绍。

## 一、计算机综合自动化制造系统(CIMS)

80年代中期,由于高技术得到蓬勃发展,美国国家基金会(NSF)在大学范围内建立了6个高科技中心,其中在美国普渡大学建立的自动化中心(Computer Integrated Design Manufacturing and Automated Center 简称 CIDMAC)就是致力于研究发展计算机综合制造系统,其深远意义在于发展新一代技术,克服人在认知过程中的局限性。当时聘请模式识别专家,智能控制研究的先驱 K. S. Fu 教授担任中心主任,不幸 Fu 教授早逝,未能为 CIDMAC 做更大贡献。

863 计划在自动化技术领域中选定了“计算机综合自动化制造系统(CIMS)”这一主题,跟踪国际 CIMS 技术发展的先进水平。为实现高质量、高效益、高柔性地生产产品的自动化工厂提供技术和样板。研究内容包括 CIMS 总体设计与实施,发展战略及体系结构,管理和决策支持系统,集成产品设计及工艺自动化,CIMS 计算机网络与数据库系统等,并建立了 CIMS 综合性大型实验研究基地,参加这项实验工程项目的主要有清华大学的5个系,以及原航空航天部 625 所、204 所、机电部自动化所、机床研究所及其它6所大学和研究所的科技人员共250余人。通过这项工程的建设,已为我国积累了实施 CIMS 的“成套技术”用于工厂改造及自动化。所掌握的技术已开始成为产品转让给工厂企业使用。实验工程建设过程中积累的成套技术和方法,已为建立工厂自动化系统工程公司创造了基本条件。

## 二、智能机器人

863 计划中自动化领域的另一个主题是智能机器人。智能机器人可以说是体现智能自动化系统能够发挥作用的典型之一。机器人的作用不仅仅是能代替人的体力劳动与部分智力劳动,更重要的是完成要求很高,靠人难以达到质量标准的工作。智能机器人主题在本世纪末的目标是:完成高精度装配机器人,水下无缆作业机器人,恶劣环境下作业机器人的研制,把研制以遥控为主,具有局部自主功能的智能机器人作为第一阶段的战略目标。研究内容大致有:智能机器人体系结构,机器人智能控制,人工智能技术在机器人中的应用,机器人视觉及非视觉传感器等。组织了国内28个单位800多名科技人员参加这一主题所分解的课题。经过几年的实践,取得了经验,加深了认识,又把目标调整为对国民经济起牵引作用的目标产品开发方面,具体可概括为:在电子,电器,仪表,精密机械几个方面建立一条一定规模的装配示范线。为大洋深水勘探研制6000米水深自治水下机器人,通过这项工作积累深水勘探与开采有关机器人技术,为21世纪进军海洋提供装备。在传统机械的机器人化方面,特别是在建筑采掘等方面开辟应用市场。为核工业建立核安全保障体系提供机器人装备。这两年来已在实验室完成了一个风扇厂的吊扇电机装配线的装配,为下一步推广装配线及装配机器人的研制开发打下了基础。

## 三、智能计算机系统

在国家高技术 863 计划信息领域中,把智能计算机系统列为重点主题项目。这个项目在某种程度上受到日本第五代计算机计划的影响,在追求目标,体系结构、软件等

方面都需要加以探索,与此同时一方面支持人工智能与智能计算机基础理论的研究,包括人工神经网络的研究,这是近年来国内对人工智能研究的资助来源之一。开展了一些系统科学与人工智能相结合的工作,对智能控制的发展起到积极的作用。另一方面支持一些具有实际应用价值的智能系统的研制,提供了一些专家系统,以及智能决策支持系统。在此项目中,智能接口技术取得了明显的进展,在印刷体与手写体汉字识别,汉语语音识别,工程图纸的自动输入与处理方面接近了实用的程度。图表、数字识别系统已用于第四次人口普查,获得成功。

#### 四、智能控制的理论方法的探讨

智能控制作为一门新兴学科,需要人们系统地开展对其基本原理和概念的研究,国内学者对智能控制理论提出了各种观点[1,2,3,4,5]。

钱学森等同志于1990年提出“开放的复杂巨系统及从定性到定量的综合集成方法”[1]。以后,文献[2]从开放的复杂系统的观点来讨论智能控制系统,认为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,而人工的智能控制系统是对开放的复杂巨系统的一种近似;认为可以把智能控制系统分为两种类型:(1)属于人机交互类型的智能控制系统,让机器作人的助手;(2)作为智能控制系统的一种近似的人工智能控制系统,让机器作人的高级助手。同时指出,从定性到定量的综合集成方法是研究开放复杂巨系统的方法,也是研究人工智能与智能控制系统的有效方法。

重庆大学提出的“仿人智能控制”基础理论把人工智能(专家系统)技术引入自动控制,在对人的控制结构宏观模拟的基础上研究人的行为功能并加以模拟和实现,其特点在于从分层递阶智能控制系统的最低层次着手,把人工智能技术不仅用于高的层次上,而且也用于运行控制级。仿人智能控制理论视智能控制为对控制问题求解的二次映射的信息处理过程,即从认知到判断的定性推理过程和从判断到操作的定量控制过程。仿人智能控制不同于传统的控制方法,它不仅具有模糊理论那样的并行、逻辑控制和语言控制的特点,而且还具有以数学模型为基础的传统控制理论的解析定量控制的特点。

文献[3]对一类智能控制系统作出总结,提出了一个智能控制系统的基本结构模型。在这个系统模型中,引入灵活推理决策单元ID,通过ID来实现信息的集成和协调管理、处理有关学习、推理和决策的知识信息过程问题。由于将ID作为一个专门的部件引入系统,克服了传统数学描述方法的局限性,从而能够全面地表达智能控制系统的功能结构和动态行为。

在智能控制的二元结构、三元结构提出之后之后,1986年又提出智能控制的四元结构。该结构认为智能控制是人工智能,控制论、系统论和运筹学四门学科的交叉。并认为智能控制的设计重点不在常规控制器方面,而在智能机模型上,智能控制的核心在高层控制,即组织级控制,高层控制的任务在于对实际环境或过程进行组织,即决策和规划,以实现广义问题求解[6]。

总之,智能控制的概念在人们头脑中不断发展,对智能控制的基本原理的研究将



不断深化。

## 五、专家控制系统

专家控制系统(ECS, Expert Control System)是一类智能控制系统,这类系统以模仿人类智能为基础,弥补了以数学模型为基础的控制系统的不足。

专家控制系统主要有两种形式[6],即专家控制系统和专家控制器。

专家控制系统结构比较复杂,研制代价较高。以一种适用于连续复杂生产过程的专家控制系统为例[7],这种专家控制系统分成若干层次。在第一层次,通过实时地识别被控连续生产过程的运行模式特征(如“控制偏差很大”,“控制偏差的变化速度中等”,“控制偏差趋向零点减少”等)来实时适应性地调整控制算法或(和)参数,以达到在不同的被控连续生产过程动态运行状况下强化控制的效果。

在第二层次,通过实时地识别瞬态过程的模式特征,建立性能的评价的演变模型,并采用滚动最优化技术与专家学习控制参数时的启发式知识相结合的策略获取为进一步改善基本反馈控制系统的性能的控制参数修正值,从而学习控制参数。

专家控制器结构较为简单,研制代价也明显低于专家控制系统,性能又能满足工业过程控制等要求,因而获得日益广泛的应用。专家控制器的结构随着控制对象和应用场合的不同而有所不同,它以知识库与推理机为主要部分。其中,知识库用于存放有关工业过程的领域知识,它由数据库和学习适配器组成。推理机用于记忆所采用的规则和控制策略及推理策略。根据知识库提供的信息,推理机能够使整个专家控制器以逻辑方式协调地工作,进行推理、作出决策,寻找出理想的控制作用。专家控制系统和专家控制器在提高控制系统的灵活性和实用性上,显示出巨大的优越性。但与此同时,也暴露出一些缺点,例如:知识获取、组合爆炸、实时控制及鲁棒性等问题,而解决这些问题的一些策略方法也应运而生。

联合使用专家系统与人工神经网络的智能控制系统能够在一定程度上解决专家系统的知识获取和组合爆炸问题。这是因为人工神经网络能够从训练样本中自动获取知识,并且具有并行处理特征[8]。

为提高专家控制系统的实时响应速度,文献[9]模仿人脑的多层分级信息处理机制,结合专家系统技术、分层递阶控制理论及神经元网络算法,提出了一种“多层、分级信息处理混合智能控制系统”,该系统通过对知识源分类管理、混合控制算法和多层分级信息处理机制来改善系统的实时性。

在确定性专家系统中,随机干扰可能造成证据的失真,知识的局限性将影响策略的正确性与有效性,这些因素都将削弱专家控制的鲁棒性,甚至破坏系统的正常工作。运用具有不精确推理机的随机型专家控制是解决上述问题的一种有效方法。这类专家系统引入可信度概念,分别用证据(Evidence)可信度和策略(Strategy)可信度来表示证据的不确定性和策略的不确定性,并通过基本运算法则来进行可信度的计算[10]。

模糊控制系统也是一种不确定性专家控制系统。模糊理论的应用使得这类系统能够比较方便地处理常规控制方法难以处理的不确定对象或过程的控制问题。国内在这

方面的研究也很活跃,提出了通用的模糊逻辑控制算法[11]及一些能够提高模糊控制的稳态精度和响应速度的控制算法[12][13]。

总之,专家系统与工程控制论的结合,形成专家控制系统,专家控制系统由于能够模仿人类控制专家和操作能手的控制技能和经验而成为活跃的智能控制研究领域,它在自身发展的同时,又与其它智能控制策略相结合而产生新的智能控制策略,例如,模式识别技术与专家系统技术相结合形成基于模式识别技术的智能控制方法[14];预估控制方法与专家系统相结合产生基于预估算法的专家式控制[15];预测控制与模糊控制相结合得到模糊预测控制算法[16];而过程划分技术、模糊多目标预测控制方法(FMPC方法)与专家系统技术的结合导致智能多目标优化控制方法[17]。

## 六、神经网络控制

近年来,人工神经网络以其独特的优点引起了人们的极大关注。其基本思想是从仿生学的角度对人脑的神经系统进行模拟,使机器具有人脑那样的感知、学习和推理等智能。对于控制界,神经网络的吸引力在于(1)能够充分逼近任意复杂的非线性关系;(2)能够学习与适应严重不确定性系统的动态特性,(3)所有定量或定性的信息都等势分布贮存于网络内的各神经元,故有很强的鲁棒性和容错性;(4)采用并行分布处理方法,使得快速进行大量运算成为可能。这些特点显示了神经网络在解决高度非线性和严重不确定性系统的控制方面的巨大潜力[18]。

国内神经网络控制方面的研究也很多,如果按照神经网络在控制系统中所起到的功能作用,可以将神经网络控制方法分为以下三类:基于模式识别(函数逼近)功能的BP网络辨识控制方法,基于联想记忆模型的模糊控制,以及基于神经网络优化功能的控制优化调节[19]。

文献[20]提出了一种辨识的方法。[21]利用BP神经网络对系统的非线性特征进行辨识,并与自适应控制机理相结合,为非线性系统的控制提供了新途径。

文献[22]提出了基于BP网络的预测控制算法,该算法引入人工神经网络的新型信息模式,并综合预测控制的方法论基理,以解决传统预测控制算法,在建模优化等方面面临的困难,这种算法尤其适用于具有未知饱和非线性典型工业过程的控制。

在这类基于BP网络的辨识控制方法中,有待解决的问题是需要对神经网络控制系统的稳定性进行透彻分析,BP算法的收敛、加速问题有待解决,BP网络中隐节点数目的选择尚无理理论指导,较难解决的还有BP算法的局部极小问题。

国内一些学者通过设计新的控制结构及新的学习算法等手段来尝试解决这些问题。

文献[23]提出一种基于BP网络控制器的递阶控制结构。整个控制结构由上层的智能控制器和下层的常规控制系统组成,上层BP网络控制器通过不断调整常规控制系统的参考输入来改善整个控制系统的性能,而常规控制器的参数与结构不受BP网络控制器的影响,这一方面有利于实现一些高级控制算法,另一方面,如果BP网络控制器的输出在常规控制系统的稳定域内,可以保证控制系统的稳定性。

文献[24]提供了一种基于自然选择和群体遗传学基理进行搜索的增强式学习算法——遗传优化算法来优化学习神经网络连接权,并在此基础上构造了一个神经网络控制器,用于控制一复杂动态系统——倒立摆系统。这个控制器兼有神经网络映射能力和遗传算法快速、全局收敛以及增强式学习等性能。

在基于联想记忆的模糊控制中,控制问题被看作是一个异联想记忆的实现[25]。

联想记忆神经网络用以实现规则集(Rule-Base),记忆其中的控制规则:

$$\text{if}(E=A_i \text{ and } CE=B_j) \text{ then } U=C_k$$

E 和 CE 分别为误差、误差变化,对应神经网络的两组输入节点,而为 U 控制,对应网络所有输出节点,Fuzzier 和 Defuzzier 也可以用 BP 网络来实现,于是整个控制器均可用 BP 网络构成,从而获得变速的分布并行计算。

与计算机实现的专家系统控制不同,这里采用神经元网络实现的模糊控制,对于知识的表达不是通过显式的一条一条规则,而是隐含地分布在整个网络中,控制应用时,不必进行复杂费时的规则搜索、推理,而是通过高速并行分布计算产生输出,这在某种意义上与人的思维更为接近,这种方法依赖于联想记忆的发展。

文献[19]描述了基于神经网络优化功能的控制器的一般结构,与模型参考自适应方法(MBAC)相比,这种方法将“参考模型”作为稳定状态存入神经网络中,而不存在明确的参考模型;能够通过学习适应新环境,而不必重新设计控制器;控制器的稳定性也有保证,而且网络收敛速度不随被调节参数数目(即网络节点数)增多而变慢。

在机器人的研究中开始也应用人工神经网络技术[26]。

## 七、智能控制的实际应用

将人工智能技术与 PID 这些简单控制器的结合是最容易成功的一个应用方向。清华大学自动化系设计的智能 PID 调节器,仅需要受控对象的阶跃响应信息,便能实现有效控制[27]。北京控制工程研究所提出的航天器主从智能 PID 控制为提高航天器控制的自主性、鲁棒性提供了一种新途径[28]。

递阶智能控制方法为现代工业、空间探索、核处理和医学领域应用自主控制系统提供了一个有效方法。西北工业大学采用三级递阶智能控制策略对全尺寸变后掠试验系统进行控制。该试验系统的目的是通过对变后掠翼飞机的各种飞行任务的模拟,检验变后掠驱动机构所必备的技术性能和变后掠机翼及整个系统的使用寿命。这个试验系统是一个运动体空间力系载荷的模拟系统,它始终要求获得高品质的动态协调控制。为了实现该大型系统的控制任务,首先根据大系统分解—协调的思想将整个系统分解成五个互相关联的子过程、为系统建立模型并明确多种控制目标。为了完成高品质动态协调控制,采用三级递阶智能控制结构,根据各子过程动态特性和控制目标的差异设计了三种智能协调控制器。整个系统采用分布式计算机实时控制方式实现[29]。浙江大学用递阶智能多目标预测控制策略实现大型工业醋酸装置中鼓泡反应塔上的多级优化控制,该策略把多目标优化技术、人工智能技术以及多变量广义预测控制技术结合起来综合成一个高级的过程控制策略,它在工业醋酸生产过程中获得了令

人满意的效果,并取得了较大的经济效益[30]。

仿人智能控制策略也在实践中得到应用。重庆大学与宜昌市无线电厂联合研制的FWK型仿人智能温度控制器就是仿人智能控制算法在温度控制上的实际应用。具体地说来,该算法主要根据控制器的输入信号(即系统的误差的大小、方向及其变化趋势作出相应的决策,以选择适当的控制模式进行控制。大量的数字仿真和数一模混合实时仿真实验表明这种仿人智能控制器的性能指标较PID控制优越得多[31]。

专家控制策略较多地用在工业过程控制中。PH控制是工业控制中公认的难题之一,传统的PID控制难于处理这种严重非线性与变动态特性问题。但是,通过智能控制思想与专家系统技术相结合设计出的一种新型智能控制器则能较好地处理中和过程的严重非线性,而且对过程参数的大幅度变化和负荷干扰有很强的自适应能力[32]。工业回转窑的专家控制系统也是专家控制策略在工业过程控制中的应用[33]。

电子仪器和测量技术一旦与计算机技术和人工智能技术相结合,就会极大地增强处理的功能和通用性。华中理工大学研制的异频调制式实时模糊推理器以简单的模糊逻辑元件构成基本的模糊推理单元,能实现以已知IF—THEN语句和当前观测事实为前提的似然推理,该推理器使用的模糊逻辑元件很少,工作于模拟信号形式,能用于离散信号形式的推理,具有很高的实时推理速度[34]。

总之,智能控制策略以其新颖的构思和有效、实用的特点而得到广泛的应用。随着时间的推移,它的应用范围还将扩大到更多领域。

在完成此项工作中,中科院自动化所的研究生姜莉楠曾帮助我们收集了大量素材,在此作者向她表示衷心的感谢。

## 参考文献

- [1]钱学森,于景元,戴汝为,一个新的科学领域——开放复杂的巨系统及其方法论,自然杂志,1990年第1期
- [2]戴汝为,智能控制系统,模式识别与人工智能,1990年9月
- [3]李人厚,秦世引,智能控制系统:结构、原理与指标体系,92全国智能控制与自适应控制理论与应用研讨会论文集
- [4]戴汝为,王珏,智能系统中的互补策略,模式识别于人工智能,Vol. 6, No. 1, 1993
- [5]涂序彦,智能控制与智能管理,第五届中国人工智能学术会议论文集,1987
- [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]田华,蒋慰孙,智能控制系统的若干新近发展,信息与控制,1991年4月
- [8]张景,李人厚,联合使用专家系统与人工神经网络的智能控制系统,92全国智能控制与自适应控制理论与应用研讨会论文集
- [9]魏瑞轩,周天健,多层分级信息处理混合智能控制系统,92全国智能控制与自适应控制理论与应用研讨会论文集
- [10]张忠怀,杨惠卿,陈兰,采用不精确推理的随机型专家控制器,92全国智能控制与自适应控制理论与应用研讨会论文集

- [11]程一,庄诚,安燮南,通用的模糊逻辑控制算法及其应用,中国自动化学会第三届全国学术年会论文集,1991年11月
- [12]卢朝辉,石光明,模糊控制中提高稳态精度的方法,92全国智能控制与自适应控制理论与应用研讨会论文集
- [13]袁新功,姚燕南,模糊控制算法探讨,92全国智能控制与自适应控制理论与应用研讨会论文集
- [14]陈民铀,一种基于模式识别技术的智能控制方法,仿人智能控制理论研究论文集,1992年5月
- [15]汪庭凯,一种基于预估算法的专家式控制,仿人智能控制理论研究论文集,1992年5月
- [16]李静如,李尚春,模糊预测控制及其应用,控制理论与应用,1992年6月
- [17]贾利民,张锡第,智能多目标优化控制及其应用,信息与控制,1992年2月
- [18]周其节,徐建闽,神经网络控制系统的研究与展望,控制理论与应用,1992年12月
- [19]田明,戴汝为,神经网络控制系统,信息与控制,1992年6月
- [20]徐耀玲,戴汝为,人工神经网络在系统辨识中的应用,自动化学报,第17卷第1期1990年
- [21]汪庭凯,秦安松,黄赛男,运用神经网络的非线性自适应控制系统,仿人智能控制理论研究论文集,1992年5月
- [22]厉隽铎,许晓鸣,席裕庚,一类未知饱和非线性过程的神经网络预测控制,中国自动化学会第三届全国学术年会论文集,1991年11月
- [23]王矛,李人厚,递阶结构智能控制系统的控制器设计,92全国智能控制与自适应控制理论与应用研讨会论文集
- [24]方建安,邵世煌,遗传算法优化神经网络及其在控制中的应用,92全国智能控制与自适应控制理论与应用研讨会论文集
- [25]应行仁,曾南,采用BP神经网络记忆模糊规则的控制,自动化学报,17(1),1991
- [26]李耀通(Yaotong, Li), Neural Network in Robotics, G. A. Bekey & K. Y. Goldberg ED., Kluwer Aca. Pub., 1991
- [27]李清泉,郭莉,智能调节器,92全国智能控制与自适应控制理论与应用研讨会论文集
- [28]余四祥,吴宏鑫,王海宁,航天器主从智能PID控制,92全国智能控制与自适应控制理论与应用研讨会论文集
- [29]蔡小斌,戴冠中,大型空间运动结构系统的二阶递阶智能控制,中国自动化学会第三届全国学术年会论文集,1991,11
- [30]王金春,高衿畅,周春辉,递阶智能多目标预测控制研究及应用,中国自动化学会第三届全国学术年会论文集,1991,11
- [31]白美卿,高富强,仿人智能温度控制器,仿人智能控制理论研究论文集,1992,5
- [32]陈民铀,周其鉴,PH过程的智能控制,仿人智能控制理论研究论文集,1992,5
- [33]陈民铀,一个用于工业回转变的专家控制,中国自动化学会第三届全国学术年会论文集,1991,11
- [34]庞富胜,异频调制式实时模糊推理原理,中国自动化学会第三届全国学术年会论文集,1991,11

# ON THE ANALYSIS OF MACHINE DEGRADATION USING A NEURAL NETWORK BASED PATTERN DISCRIMINATION MODEL

**Jay Lee**  
**Program Director**  
**National Science Foundation**  
**Washington, DC**

**Bruce M. Kramer\***  
**Professor**  
**The George Washington University**  
**Washington, DC**

## ABSTRACT

Machines degrade as a result of aging and wear, which decreases performance reliability and increases the potential for faults and failures. The impact of machine faults and failures on factory productivity is an important concern for manufacturing industries. Economic impacts relating to machine availability and reliability, as well as corrective (reactive) maintenance costs, have prompted facilities and factories to improve their maintenance techniques and operations to monitor machine degradation and detect faults. This paper presents an innovative methodology that can change maintenance practice from that of reacting to breakdowns, to one of preventing breakdowns, thereby reducing maintenance costs and improving productivity.

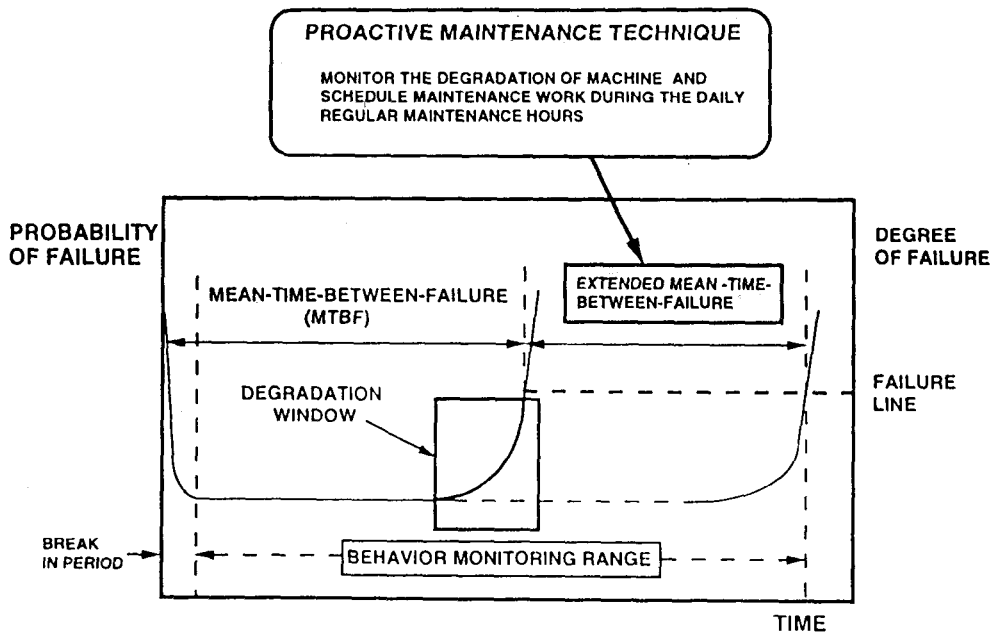
To analyze the machine behavior quantitatively, a pattern discrimination model (PDM) based on a cerebellar model articulation controller (CMAC) neural network was developed. A PUMA 560 robot was used to study the feasibility of the developed technique. Experimental results have shown that the developed technique can analyze machine degradation quantitatively. This methodology could help operators set up machines for a given criterion, determine whether the machine is running correctly, and predict problems before they occur. As a result, maintenance hours could be used more effectively and productively.

\* *On leave from The George Washington University and currently with the National Science Foundation.*

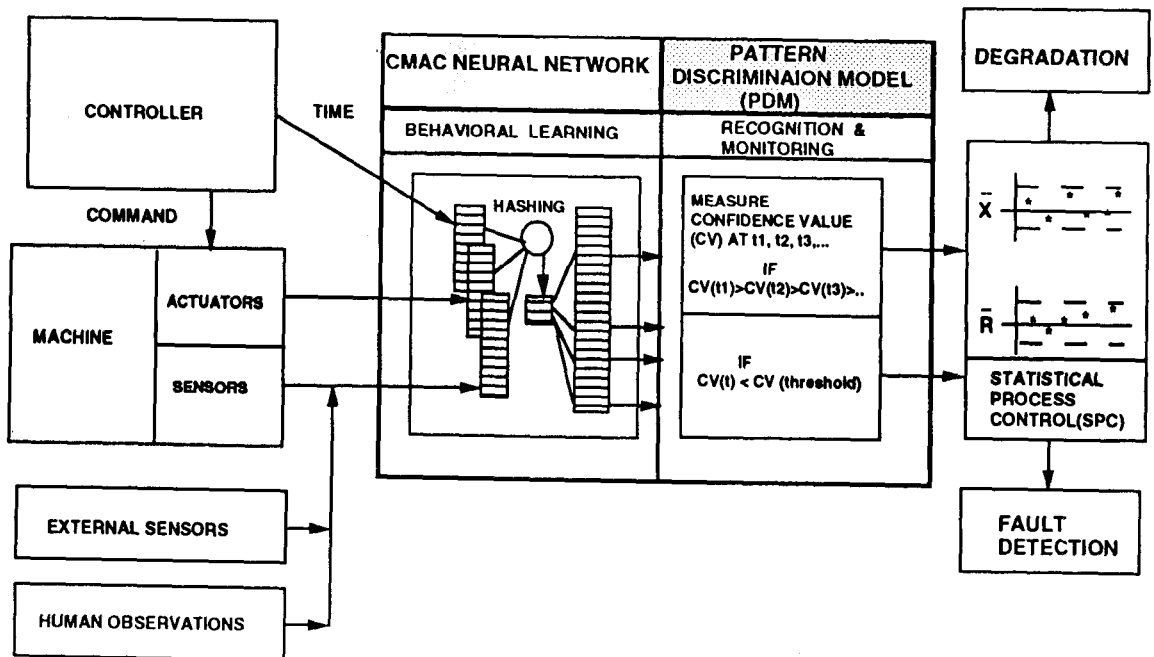
## INTRODUCTION

Equipment reliability and maintenance drastically affect the three key elements of competitiveness -- quality, cost, and product lead time. Well-maintained machines hold tolerances better, help reduce scrap and rework, and raise consistency and quality of the part. They increase uptime and yields of good parts, thereby cutting total production costs, and also can shorten lead times by reducing downtime and the need for retooling [1]. The recent rush to embrace computer-integrated manufacturing (CIM) has further increased the use of relatively unknown and untested technology. Today, many factories are still performing maintenance on equipment in a reactive, or breakdown, mode. This is due to traditional process monitoring systems can only detect machine or process faults when they occur. Reactive maintenance is expensive because of extensive unplanned downtime and damage to machinery [2-7]. In high-performance systems one often cannot tolerate significant degradation in performance during normal system operation. This had led many U.S. manufacturers to look to suppliers for smarter equipment that will ease the need for strong technical support for equipment. To avoid machine downtime, some companies have used preventive and predictive maintenance approaches either by using historical maintenance data or by sensing machine condition. However, there are no maintenance data available for many newly developed machines or advanced manufacturing systems. Adding sensors to monitor machine condition will also increase machine complexity and will require more highly trained personnel. Therefore, some manufacturers design a fault detection system that takes system redundancy into account, for example, a system containing several back-up subsystems [8-15].

Currently, no proven technique has been employed to monitor the degradation of a machine and its process in order to adaptively prevent faults or failure [1-15]. The authors believe that the development of methodology in monitoring machine degradation is a proactive approach for machine maintenance. The goal of this research was to develop an innovative, proactive, maintenance implementation technique -- an integrated learning, monitoring, and recognition methodology that can be used to analyze and monitor machine behavior quantitatively and provide an early warning of possible faults. By doing this, maintenance personnel can perform early diagnostics and part replacement during the regular daily maintenance hours. Therefore, the mean-time-between-failure can be extended to an unlimited length. Figure 1 shows the concept of the proposed proactive maintenance implementation technique. Figure 2 shows the system concept of the proposed methodology, an integrated learning, monitoring, and recognition technique, for a proactive maintenance system. The cerebellar model articulation controller (CMAC) is used to adaptively learn machine behavior and a pattern discrimination model (PDM) based on the CMAC is used to monitor, recognize, and quantify behavioral changes. The PDM serves as a *watchdog* to monitor the behavior of the machine by using a confidence value that represents the conditional probability of degradation. The fault then can be detected by comparing the confidence value of the PDM output with a threshold confidence value.



**FIGURE 1 PROACTIVE MAINTENANCE CONCEPT DIAGRAM**



**FIGURE 2 MACHINE DEGRADATION AND FAULT DETECTION TECHNIQUE**



## PREVIOUS WORK

Automated fault detection and a diagnostic systems based on neural networks have been implemented for jet and rocket engines by Dietz, Kiech, and Ali [20]. In this approach, fault diagnosis is performed by mapping or associating patterns of input data to patterns representing fault conditions. Greenwood and Stevenson from Netrologic, Inc. [21] have estimated tool wear using neural networks. Uhrig and Guo [22] have used the back-propagation neural network to identify transient operating conditions in nuclear power plants. Franklin, Sutton, and Anderson [11] from GTE have used the ADALINE and the NADALINE, a one-layer neural network, to monitor fluorescent bulb manufacturing. Ford Motors has developed automotive control system diagnostics using neural networks for rapid pattern classification of large data sets [10]. The data for training the systems were obtained by introducing twenty-six different faults into the power plants (shorted plug, open plug, plugged injector, broken manifold pressure sensors, etc.) and observing the engine operation at a fast idle. A backpropagation classification algorithm was used for fault recognition. However, real-time fault detection and diagnostics have not been implemented due to the limitation of the real-time data acquisition and learning. Netrologic Inc. has also developed a neural network-based fault detection and diagnostics tool for space systems in NASA. A feedforward neural networks was used to recognize the signature of a valve in the ATLAS rocket (which contains some of 150 valves of various types) [9]. The data were collected in the form of electric current transient signatures from ATLAS rocket valves installed on a pneumatic test bench. The data were then used to train and test two neural networks: one was trained to distinguish among signatures for three separate types of valves during a valve-open state change (rising current), and the other was trained to distinguish among signatures for the same types of valves during a valve-closed state change (falling current). The use of neural network in monitoring machine degradation was first proposed by Lee and Kramer [30]. A CMAC neural network based reasoning tool was developed to analyze the consistence of the machine behavior based on the locations of weights in a lookup table. The degree of degradation was represented by a confidence value.

## METHODOLOGY

The authors propose to use the CMAC as a real-time data acquisition and learning tool for the behavior of the actuators and sensors when a system is in operation. The unique part of this approach is the use of CMAC to learn the good or normal patterns under different working conditions rather than to learn the bad or wrong patterns. In many cases, it is very difficult to create the bad and wrong conditions for a machine during training.

The Marr-Albus cerebellum model [23-26] was originally a model of the cerebellum, the part of brain that coordinates fine motor movements. Analytical processing within