

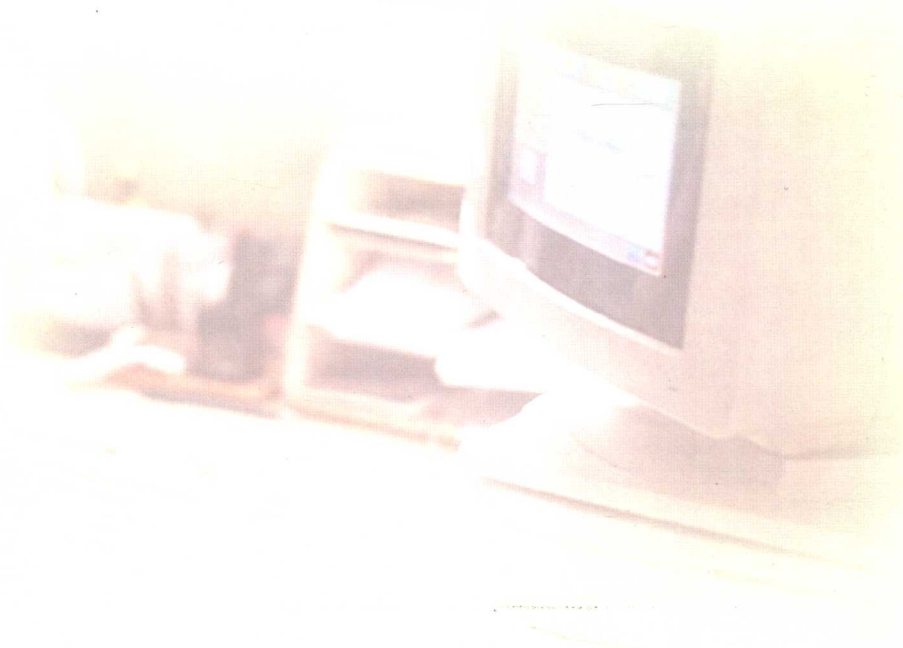


研究生用书

智能控制理论与应用

ZHI NENG KONG ZHI LI LUN YU YING YONG

杜尚丰 孙明 董乔雪 编著



中国农业大学出版社

中国农业大学研究生用书

智能控制理论与应用

杜尚丰 孙 明 董乔雪 编著

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

智能控制理论与应用/杜尚丰,孙明,董乔雪编著. —北京:中国农业大学出版社,
2005.9

ISBN 7-81066-841-2

(中国农业大学研究生用书)

I. 智… II. ①杜… ②孙… ③董… III. 智能控制 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第002155号

书 名 智能控制理论与应用

作 者 杜尚丰 孙 明 董乔雪 编著

策划编辑 潘晓丽

责任编辑 童 云

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100094

电 话 发行部 010-62731190,2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail caup@public.bta.net.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司

版 次 2005年9月第1版 2005年9月第1次印刷

规 格 787×980 16开本 18印张 325千字

印 数 1~1 050

定 价 21.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

内 容 简 介

智能控制是近 20 年发展起来的一门新兴学科,它简化了建模手续,算法简单,显著地提高了控制系统的品质,引起了国内外学者的关注,成为当前国内外控制领域的研究热点之一。

本教材深入浅出地介绍智能控制的基本概念、基本原理及其应用,主要内容有智能控制基础理论、模糊控制、神经网络控制、专家控制系统及遗传算法;介绍智能控制系统的硬件、软件基础。介绍智能控制理论的发展最新动态;介绍智能控制理论在智能机器人、设施园艺环境、生物控制、农业机械控制中应用范例。

本教材适于从事生产过程自动化、计算机应用、机械电子工程、农业工程控制和电气自动化领域的研究生阅读,也可作为大专院校自动化、自动控制、机械电子、数字农业控制、自动化仪表及计算机应用等专业的教学参考书。

总 序

我国的研究生教育正处于迅速发展、深化改革时期,要在研究生规模和结构协调发展的同时,加快教学改革步伐,以培养高质量的创新人才。为加强和改进研究生培养工作,改革教学内容和教学方法,充实高层次人才培养的基本条件和手段,建设研究生培养质量基准平台,促进研究生教育整体水平的提高,中国农业大学采取立项建设的方式进行了研究生重点课程建设、教材建设以及教学方式方法的改革。通过一系列的改革、建设工作,形成了一批特色鲜明的研究生教材,本书是其中之一。

建设一批研究生教学用书,是我校研究生教育教学改革的一次尝试,这批研究生教学用书,以突出研究生能力培养为出发点,引进和补充了最新的学科前沿进展内容,强化了研究生用书在引导学生扩充知识面、采用研究型方式学习、提高综合素质方面的作用,必将对提高研究生教育教学质量产生积极的促进作用。

中国农业大学研究生院

2005 年 1 月

前 言

目前国内有关智能控制理论与应用的论著较多,论著内容比较适合在该领域有很强功底的研究生,原因是这些教材的编写是在前期工作和科研成果的基础上编写而成的,内容过多,而系统性还有待于进一步完善,作为教材尚需在智能控制领域有很深造诣的教师才能讲明白,才能引导研究生完成为期半年的学习。经过几年的教学与科学研究,加上智能控制理论内容的丰富与完善,控制理论的内容逐步系统化、规范化,编写一本适合研究生教学的教材是21世纪高等教育必不可少的环节。

本教材的编写侧重于对已形成系统理论的部分做系统的编写,主要包括智能控制基础理论、模糊控制、神经网络控制、专家控制及遗传算法。同时对近几年发展起来的智能控制理论给予简单的概述,其主要内容如下:

第1章 绪论。概述智能控制的基本概念,主要包括智能控制的研究对象、智能控制系统、智能控制系统的基本结构与主要功能特点;智能控制发展概况;智能控制理论概述。

第2章 智能控制基础理论。主要包括:模糊控制基础理论、神经网络控制基础理论、专家控制基础理论。

第3章 模糊控制。介绍模糊关系与模糊推理、基本模糊控制器的设计方法-精确量的模糊化、模糊控制算法的设计、解模糊化的方法。简介计算机实现模糊控制的程序、模糊系统开发软件与模糊芯片。模糊控制的高级算法及模糊控制范例两例。

第4章 神经网络控制。神经网络控制的特点与局限性、神经网络控制的原理、神经网络的PID控制器的设计、神经网络模型自适应控制、神经网络自校正控制、单个神经元构成的PID控制器设计方法及神经网络控制范例。

第5章 专家控制。专家控制的历史、专家系统、专家控制的研究状况与分类;专家控制系统的特点与结构;包括专家控制的功能目标、控制作用的实现、设计规范等的专家控制的基本原理;实时专家控制系统、专家控制器的设计方法;专家控制系统范例。

第6章 遗传算法。遗传算法的基本操作-复制、交叉、变异;遗传算法的模式理论;遗传算法在智能控制优化中的应用;仿真范例两例。

本书第1、3、4、5章由杜尚丰编写,第2章由董乔雪编写,第6章由孙明编写,全书由杜尚丰统稿。

本书在编写过程中得到了许多人的支持帮助,李迎霞和宫晓琳同学为本书的文稿整理做了大量的工作;郭喜庆教授对编写教材给予了许多关怀并提出了建设性建议;王一鸣教授为编写该教材提供了丰富的资料。在此,向以上提到的各位及其他为本书提供帮助的人们一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在一些不足与错误之处,欢迎广大读者批评指正。

杜尚丰

2004年7月7日

目 录

1 绪论	(1)
1.1 智能控制的基本概念	(1)
1.1.1 智能控制的研究对象	(1)
1.1.2 智能控制系统	(2)
1.1.3 智能控制系统的基本结构	(2)
1.1.4 智能控制系统的主要功能特点	(4)
1.1.5 智能控制研究的数学工具	(4)
1.2 智能控制的发展概况	(5)
1.3 智能控制理论	(12)
习题	(15)
2 智能控制基础理论	(16)
2.1 模糊控制基础理论	(16)
2.1.1 普通集合及其运算规则	(16)
2.1.2 Fuzzy 集合及其运算规则	(18)
2.1.3 Fuzzy 关系	(25)
2.1.4 Fuzzy 关系矩阵	(30)
2.1.5 Fuzzy 条件语句	(36)
2.1.6 Fuzzy 推理	(38)
2.2 神经网络控制基础理论	(46)
2.2.1 神经网络的基本概念	(46)
2.2.2 前向网络及其主要方法	(54)
2.2.3 反馈网络	(61)
2.3 专家控制基础理论	(65)
2.3.1 专家控制的由来	(65)
2.3.2 专家系统技术	(66)
习题	(68)
3 模糊控制	(70)
3.1 引言	(70)
3.1.1 模糊控制的研究对象	(70)

3.1.2	模糊控制是模仿人的控制·····	(71)
3.1.3	模糊控制研究的数学工具——模糊集合与模糊数学·····	(71)
3.1.4	模糊控制的发展与应用概况·····	(72)
3.2	模糊控制器·····	(75)
3.2.1	模糊控制器的基本结构和组成·····	(75)
3.2.2	模糊化运算·····	(77)
3.2.3	数据库·····	(78)
3.2.4	模糊控制规则库·····	(80)
3.2.5	清晰化计算·····	(82)
3.2.6	论域为离散时的模糊控制器·····	(84)
3.2.7	常用的模糊控制器简介·····	(85)
3.3	范例——温室环境模糊控制设计·····	(88)
3.3.1	系统的特点·····	(89)
3.3.2	控制算法的选择·····	(89)
3.3.3	模糊控制器的选择·····	(89)
3.3.4	有关专家经验·····	(90)
3.3.5	温度模糊控制器·····	(91)
3.3.6	温室环境冬季加热模糊控制C语言程序·····	(94)
3.4	范例——模糊参数自适应PID控制器·····	(110)
3.4.1	模糊参数自适应PID控制器控制原理·····	(110)
3.4.2	模糊参数自适应PID控制器·····	(112)
3.4.3	模糊参数自适应PID控制器输入输出变量的模糊化设计·····	(113)
3.4.4	模糊控制器的控制规则·····	(115)
3.4.5	模糊推理的算法设计·····	(116)
3.4.6	仿真程序及分析·····	(118)
3.5	模糊控制软件开发工具与模糊控制芯片·····	(130)
3.5.1	模糊控制软件的开发工具·····	(131)
3.5.2	模糊控制芯片简介·····	(135)
	习题·····	(139)
4	神经网络控制·····	(140)
4.1	引言·····	(140)
4.2	神经网络控制的设计与实现·····	(140)
4.2.1	神经网络控制的设计·····	(140)

4.2.2 神经网络控制的实现	(142)
4.3 神经自校正控制	(144)
4.3.1 神经自校正控制结构	(145)
4.3.2 神经网络辨识器	(146)
4.4 神经PID控制	(150)
4.4.1 神经网络辨识器	(150)
4.4.2 神经PID控制器	(152)
4.5 神经模型参考自适应控制	(155)
4.6 PID神经网络控制	(156)
4.6.1 PID神经网络单变量控制	(156)
4.6.2 PID神经网络多变量控制	(159)
习题	(163)
5 专家控制	(164)
5.1 专家系统和专家控制	(164)
5.1.1 专家系统	(164)
5.1.2 实时专家系统	(167)
5.1.3 专家控制	(169)
5.2 专家控制系统的结构	(169)
5.2.1 间接专家控制和直接专家控制	(169)
5.2.2 直接专家控制的结构	(170)
5.3 专家控制系统的设计	(174)
5.3.1 模型描述	(174)
5.3.2 信息处理和特征提取	(175)
5.3.3 控制策略	(179)
5.3.4 知识库	(181)
5.3.5 自学习机构	(181)
5.3.6 推理机	(182)
5.3.7 数据库	(182)
5.4 专家控制的范例——可控环境专家控制	(183)
5.4.1 引言	(183)
5.4.2 专家控制	(184)
5.4.3 专家控制系统的结构	(185)
5.4.4 温室环境专家控制系统的实现	(186)

5.4.5 结论	(187)
习题	(188)
6 遗传算法	(189)
6.1 模拟进化计算技术	(189)
6.1.1 模拟进化计算技术综述	(189)
6.1.2 模拟进化计算的基本问题	(190)
6.1.3 模拟进化计算的生物学基础	(192)
6.1.4 模拟进化计算的一般框架	(196)
6.1.5 模拟进化计算的典型例子	(199)
6.1.6 模拟进化计算的主要优势与适应领域	(201)
6.2 遗传算法的基本要素	(203)
6.2.1 基本描述	(203)
6.2.2 编码	(205)
6.2.3 适应度函数	(207)
6.2.4 遗传算子	(210)
6.2.5 遗传参数	(214)
6.3 遗传算法的基本操作	(215)
6.3.1 选择/复制	(215)
6.3.2 交叉/重组	(227)
6.3.3 变异	(232)
6.3.4 重插入	(234)
6.3.5 并行实现	(235)
6.4 遗传算法的数学基础	(239)
6.4.1 模式定理	(239)
6.4.2 积木块假设	(245)
6.5 遗传算法与控制工程	(248)
6.5.1 用于控制工程的遗传算法	(248)
6.5.2 遗传算法在控制工程中的应用	(250)
6.6 基于MATLAB的仿真	(253)
6.6.1 遗传算法的实现	(253)
6.6.2 基于遗传算法的PID整定	(258)
习题	(272)
参考文献	(273)

1 绪论

1.1 智能控制的基本概念

智能控制是一个新兴的学科,目前有关智能控制的定义、理论、结构等尚无统一的系统的描述,下面仅就它的研究对象、主要特征以及研究的数学工具等问题作简要介绍。

1.1.1 智能控制的研究对象

智能控制是控制理论发展的高级阶段。它主要用来解决那些用传统方法难以解决的复杂系统的控制问题,其中包括智能机器人系统、计算机集成制造系统(CIMS)、复杂的工业过程控制系统、航天航空控制系统、社会经济管理系统、交通运输系统、环保及能源系统,农业工程中的设施农业环境控制,农业工程中的大田机械设备作业控制等。具体地说,智能控制的研究对象具备以下一些特点:

(1)模型的不确定性 传统的控制是基于模型的控制,这里的模型包括控制对象和干扰模型。传统的控制通常认为模型已知或者经过辨识可以得到,而智能控制的对象通常存在严重的不确定性。这里所说的模型不确定性包括两层意思:一是模型未知或知之甚少;二是模型的结构和参数在很大的范围内变化。无论哪种情况,采用传统方法都难以对它们进行控制,而这正是智能控制所要研究解决的问题。

(2)高度的非线性 在传统的控制理论中,线性系统理论比较成熟。对于具有高度非线性的控制对象,虽然也有一些非线性控制方法,但总的来说,非线性控制理论还很不成熟,而且方法比较复杂。采用智能控制的方法往往较好地解决非线性系统的控制问题。

(3)复杂的控制要求 在传统的控制系统中,控制的任务或者是要求输出量为定值(调节系统),或者是要求输出量跟随期望的运动轨迹(跟踪系统),因此控制任务的要求比较单一。对于智能控制系统,任务的要求往往比较复杂。例如,在智能机器人系统中,它要求系统对一个复杂任务具有自行规划和决策能力,有自动躲避障碍运动到期望目标位置的能力。再如,在复杂的工业过程控制系统中,它除了要求各被控物理量实现定值调节外,还要求能实现整个系统的自动启停、故障的自

动诊断以及紧急情况的自动处理等功能。生命科学中的作物生长控制是一个复杂的问题,因为它涉及到环境模型、作物生长模型、土壤(水肥)模型,到目前为止,有关这三个模型如何相互作用,从机理上还需要深入地研究,如果把智能控制技术应用到这一领域,应该说能获得满意的效果。

1.1.2 智能控制系统

智能控制系统是实现某种控制任务的一种智能系统。所谓智能系统是指具备一定智能行为的系统。具体地说,若对于一个问题的激励输入,系统具备一定的智能行为,它能够产生合适的求解问题的响应,这样的系统便称为智能系统。例如,对于智能控制系统,激励输入是任务要求及反馈的传感信息等,产生的响应则是合适的决策和控制作用。

从系统的角度,智能行为也是一种从输入到输出的映射关系,这种映射关系并不能用数学的方法精确地加以描述,因此它可看成是一种不依赖于模型的自适应估计。例如,一个钢琴家演奏一支优美的乐曲,是一种高级的智能行为,其输入是乐谱,输出是手指的动作和力度。输入和输出之间存在某种映射关系,这种映射关系可以定性地加以说明,但不可能用数学的方法来精确地加以描述,因此也不可能由别的人来精确地加以再现。

萨里迪斯(G. N. Saridis)给出了另一种定义,即通过驱动自主智能机来实现其目标而无需操作人员参与的系统称为智能控制系统。这里所说的智能机指的是能够在结构化或非结构化、熟悉或不熟悉的环境中,自主地或有人参与地执行拟人任务的机器。

上面的定义仍然比较抽象,下面给出一个通俗但不严格的定义:在一个控制系统中,如果控制器完成了分不清是机器还是人完成的任务,这样的系统称为智能控制系统。

1.1.3 智能控制系统的基本结构

智能控制系统的结构如图 1-1 所示。

在该系统中,广义对象包括通常意义下的控制对象和所处的外部环境。例如对于智能机器人系统来说,机器人手臂、被操作物体及其所处环境统称为广义对象;可控环境中的温室结构、各种执行机构、温室中的作物也可称为广义对象。对机器人系统来说,传感器则包括关节位置的传感器、力传感器,还可能包括触觉传感器、滑觉传感器或视觉传感器等。感知信息处理将传感器得到的原始信息加以处理。例如视觉信息便要经过很复杂的处理才能获得有用信息。认知部分主要接收和存储

知识、经验和数据,并对它们进行分析、推理,作出行动的决策,送至规划和控制部分。通讯接口除建立人机之间的联系外,也建立系统中各模块之间的联系。规划和控制是整个系统的核心,它根据给定的任务要求、反馈的信息及经验知识,进行自动搜索、推理决策、动作规划,最终产生具体的控制作用,经执行部件作用于控制对象。

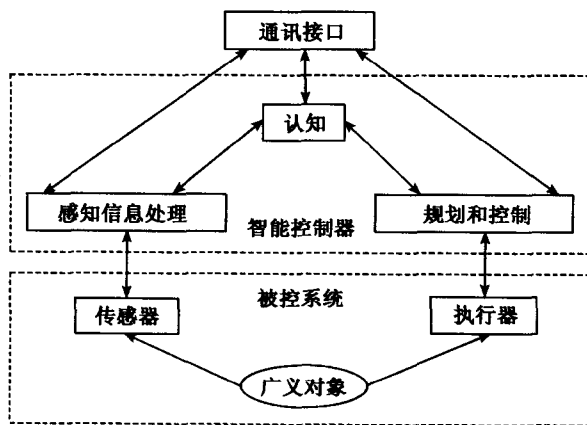


图 1-1 智能控制系统的典型结构

对于不同用途的智能控制系统,以上几个部分的形式和功能可能存在较大差异。

萨里迪斯提出了智能控制系统的分层递阶的组成结构形式,如图 1-2 所示。其中,执行级一般需要比较准确的模型,以实现具有一定精度要求的控制任务;协调级用来协调执行级的动作,它不需要精确的模型,但需要具备学习功能以便在再演的控制环境中改善性能,并能接受上一级的模糊指令和符号语言;组织级将操作员的自然语言翻译成机器语言,组织决策、规划任务、并直接干预低层的操作。在执行级中,识别的功能在于根据执行级送来的测量数据和组织级送来的指令产生合适的协调作用。在组织级中识别的功能在于翻译定性的命令和其他输入。该分层递阶的智能控制有两个明显特点:

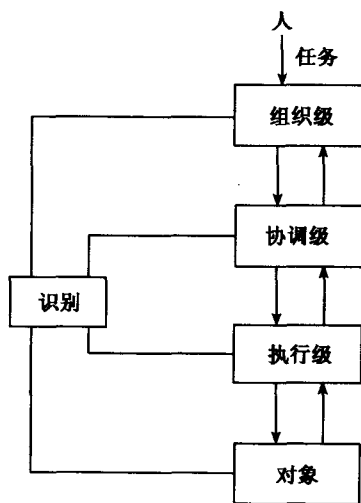


图 1-2 分层递阶智能控制结构

量数据和组织级送来的指令产生合适的协调作用。在组织级中识别的功能在于翻译定性的命令和其他输入。该分层递阶的智能控制有两个明显特点:

①对控制来讲,自上而下控制精度越来越高。

②对识别来讲,自下而上信息回馈越来越粗略。这种分层递阶结构形式已被成功地应用于机器人的智能控制、交通系统的智能控制及管理。

以上虽然给出了智能控制系统的几种定义,但是他并没有提出一个明确的界限,即明确地划分什么样的系统才算是智能控制系统。同时,即使是智能控制系统,其智能程度也有高有低,因此下面只能给出智能控制系统大致应具备的一些特点。

1.1.4 智能控制系统的主要功能特点

(1)学习功能 关于什么是学习,人们尚有很多争议。下面是萨里迪斯提出的一个定义:一个系统,如果能对一个过程或其环境的未知特征所固有的信息进行学习,并将得到的经验用于进一步的估计、分类、决策和控制,从而使系统的性能得到改善,那么就称该系统为学习系统。

具有学习功能的控制系统也成为学习控制系统,它主要强调其具备学习功能的特点。学习控制系统可看成是智能控制系统的一种。智能控制系统的学习功能有高低,低层次的学习功能主要包括对控制对象参数的学习,而高层次的学习则包括知识的更新和遗忘。

(2)适应功能 这里所说的适应功能比传统的自适应功能具有更广泛的含义。它包括更高层次的适应性。正如前面所提到的,智能控制系统中的智能行为实质上是一种从输入到输出的映射关系。它可看成是不依赖模型的自适应估计,因此它具有很好的适应性能。当系统的输入不是已经学习过的例子时,由于它具有插补功能,从而可给出合适的输出。甚至当系统的某一部分出现故障时,系统也能够正常的工作。如果系统具有更高程度的智能,它还能自动找出故障甚至具有自恢复功能,从而体现更强的适应性。

(3)组织功能 它指的是对于复杂的任务和分散的传感信息具有自行组织和协调的功能。该组织功能也表现为系统具有相应的主动性和灵活性,即智能控制器可以在任务要求的范围内自行决策、主动的采取行动,而当出现多目标冲突时,在一定的限制下,控制器有权自行裁决。

1.1.5 智能控制研究的数学工具

传统的控制理论主要采用微分方程、状态方程以及各种变换等作为研究的数学工具,它本质上是数值计算方法。而人工智能则主要采用符号处理、一阶谓词逻辑等作为研究的数学工具。两者有着根本的区别,而智能控制研究的数学工具则是上述两个方面的交叉和结合,它主要有以下几种形式:

(1)符号推理与数值计算的结合 例如,专家控制的上层是专家系统,采用人工智能中的符号推理方法;下层是传统的控制系统,采用的仍是数值计算方法。因此,整个智能控制系统的数学研究工具是这两种方法的结合。尽管近几年来人们对专家控制系统的研究缺少热情,但专家系统在生命科学系统的控制中将扮演重要的作用。

(2)离散时间系统与连续时间系统分析的结合 计算机集成制造系统(CIMS)和智能机器人便属于这种情况,他们是典型的智能控制系统。例如在CIMS中,上层任务的分配和调度、零件的加工和传输等均可用离散时间系统理论来进行分析和设计;下层的控制,如机床及机器人的控制,则采用常规的连续时间系统分析方法。

(3)结合两者之间的方法

①神经网络。它通过许多简单的关系来实现复杂的函数关系。它本质上是非线性的动力学系统,但它并不依赖于模型。

②模糊集合论。它形式上是利用规则进行逻辑推理,但其非逻辑取值可在0与1之间连续变化,采用数值的方法而非符号的方法进行处理。

以上两种方法,即神经网络和模糊集合论,在某些方面如逻辑关系、不依赖于模型等类似于人工智能方法,而其他方面如连续取值和非线性动力学特性等则类似于通常的数值方法,即传统的数学工具,因而它们是介于二者之间的数学工具,且可能是进行智能控制研究的主要数学工具。目前的模糊神经网络控制基本上也已形成系统理论。

1.2 智能控制的发展概况

19世纪60年代,自动控制理论和技术发展已渐趋成熟,而人工智能还只是一个诞生不久的新兴技术。1966年,门德尔(J. M. Mendel)首先主张人工智能用于飞船控制系统的设计。1971年,著名学者傅京逊(K. S. Fu)从发展学习控制的角度首次正式提出智能控制这个新兴的学科领域:“学习控制系统和智能控制系统:人工智能与自动控制的交叉”。他列举了三种智能控制系统的例子:

(1)人作为控制器的控制系统 图1-3所示为操纵驾驶杆以瞄准目标的手动控制系统。

在这里人作为控制器包含在闭环控制回路内,由于人具有识别、决策、控制等功能,因此对于不同的控制任务及不同的对象环境情况,它具有自学习、自适应和自组织的功能,自动采用不同的控制策略以适应不同的情况。显然,这样的控制系

统属于智能控制系统。

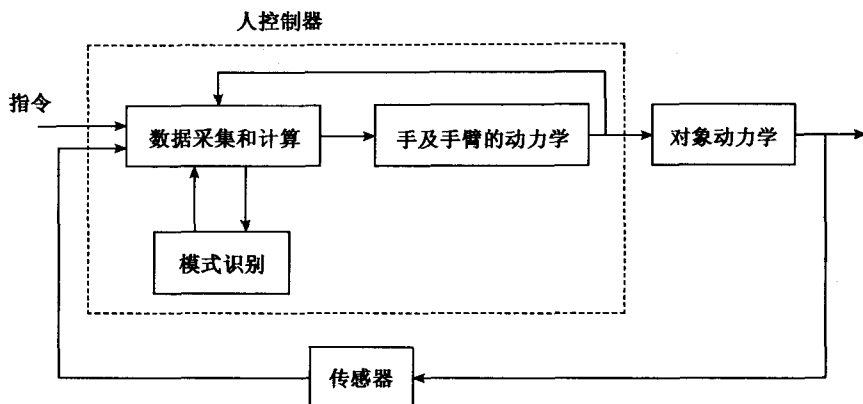


图 1-3 人作为控制器的系统

(2) 人机结合作为控制器的控制系统 在这样的控制系统中, 机器(主要是计算机)完成那些连续进行需要快速计算的常规控制任务。人则主要完成任务分配、决策、监控等任务。图 1-4 表示了一个由人机结合作为控制器的遥控操作系统典型结构, 它是另外一种类型的智能控制系统。

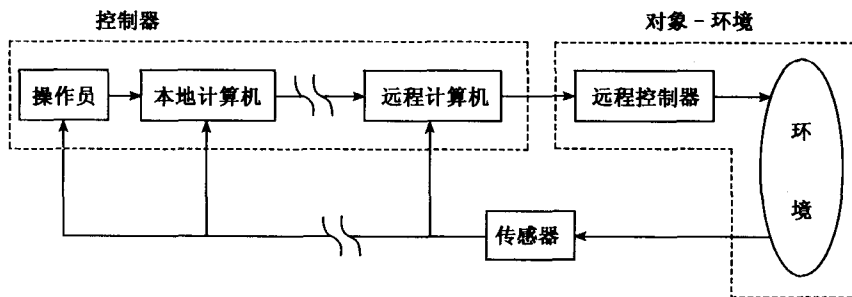


图 1-4 人机结合作为控制器的遥控操作系统

(3) 无人参与的智能控制系统 以上两种类型的智能控制系统均是有人参与的, 许多智能控制任务是由人完成的。我们更感兴趣的是如何将前面由人完成的那些功能变为由机器来完成, 从而设计出无人参与的智能控制系统。一个最典型的例子是自主机器人。图 1-5 为斯坦福研究所(SRI)机器人系统的结构图。

该系统主要完成以下功能: 问题求解和规划、环境建模、传感信息分析和反射响应。反射响应类似于常规控制器, 它主要完成简单情况下的控制。该机器人本体有两个步进电机分别独立地驱动左右两个轮子, 从而达到控制速度和方向的目的。