

1010110101101

船舶智能控制与自动化系统

Ship Intelligent Control and Automation Systems

郭 晨 卓永强 张 闯 李 晖 等著

100101001010101101010101 01010100101001011010101
101 01001010101010010101010
0101101010110101101
101010110101101001010010100101011
0010100101010110101010101 01010100101001001



科学出版社



船舶智能控制与自动化系统

Ship Intelligent Control and Automation Systems

郭 晨 卓永强 张 闯 李 晖 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地总结了作者多年来从事智能控制与船舶自动化系统研究的主要内容。概述了国内外智能控制与船舶自动化系统研究进展,分别论述了船舶自动舵智能控制、船舶减摇鳍智能控制、船舶动力定位系统智能控制、船舶运动与主推进装置联合智能控制、船舶智能导航系统、船舶智能避碰系统和欠驱动自主式水下航行器的运动智能控制等领域的主要研究成果。力求体现智能控制理论与技术在现代船舶工程系统中的成功应用。

本书可供船舶与海洋工程、控制科学与工程、交通信息工程及控制等学科的研究生和自动化、船舶电子电气工程、电气工程及其自动化及轮机工程等专业的低年级本科生作为教材或教学参考书,也可供相关领域从事科研和工程设计的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶智能控制与自动化系统 / 郭晨等著. — 北京: 科学出版社, 2018.7

ISBN 978-7-03-055704-9

I. ①船… II. ①郭… III. ①船舶操纵-自动控制系统
IV. ①U664.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 293625 号

责任编辑: 余 丁 陈 静 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

河北鹏润印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 7 月第 一 版 开本: 720×1 000 1/16

2018 年 7 月第一次印刷 印张: 24 3/4 插页: 2

字数: 490 000

定价: 148.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

智能控制作为一门具有很强综合性的交叉学科,为解决复杂非线性不确定系统的控制问题开辟了新的途径,其产生和发展得益于人工智能、自动控制、运筹学、计算机科学、生物学和心理学等许多学科。当前国内外智能控制理论与应用的研究十分活跃,呈现出强大的生命力。近几十年来,智能控制理论和船舶与海洋工程技术都有了快速的发展,并处于持续发展之中。大型船舶本身就是一个由多种装置和设备综合集成的复杂大系统。船舶是水路运输的主要工具,海洋运输是国际物流中最主要的运输方式,海运承担着世界 90% 以上的贸易运输量。国际海事组织对运输船舶提出了“航行更安全、海洋更清洁”的理念,倡导船舶运行实现“安全、高效、节能和环保”的目标。随着高新技术的大量涌现和应用,当前国内外水上运输船舶正在向大型化、高速化、集装箱化和滚装化发展,船舶自动化系统高精度化、网络化趋势明显。

伴随着计算机及网络技术的广泛应用和船舶设计、船舶动力与推进、船舶导航通信、船舶电力等相关系统和装置的快速发展,智能化和高可靠性的船舶自动化系统正在不断发展和完善。由智能导航、智能自动操舵仪及航行信息管理系统等组成的智能化综合船桥系统和机舱长时间无人自动化系统为实现运输船舶的无人驾驶奠定了技术基础,人工智能的突破为实现船舶无人驾驶和自主智能控制带来了希望。无人驾驶运输船舶的提出和研发进展引起了全球的关注。

本书撰写中结合了作者多年来从事智能控制与船舶自动化系统研究和教学工作的成果和体会,参考了国内外诸多相关文献,力求体现船舶自动化工程系统的最新进展及其中智能控制方法与技术的成功应用。

本书共 8 章。第 1 章为智能控制与船舶自动化系统概述;第 2 章为船舶自动舵智能控制;第 3 章为船舶减摇鳍智能控制;第 4 章为船舶动力定位系统智能控制;第 5 章为船舶运动与主推进装置联合智能控制;第 6 章为船舶智能导航系统;第 7 章为船舶智能避碰系统;第 8 章为欠驱动自主式水下航行器的运动智能控制。

本书撰写分工如下:大连海事大学郭晨教授撰写前言、第 1 章;广东海洋大学卓永强教授、大连海事大学张闯博士撰写第 2、第 6、第 7 章;大连海事大学李晖教授撰写第 3 章;上海海洋大学雷正玲博士撰写第 4 章;江苏渔船检验局袁士春博士撰写第 5 章;大连海事大学于浩淼博士撰写第 8 章。另外,大连海事大学吴志良教授和大连船舶重工集团有限公司王宏武高级工程师分别提供了船舶电站自动化系

统、船舶自动舵系统和柴油主机遥控系统的有关素材。全书由郭晨教授、张闯博士负责统编整理。张闯博士重新绘制了书稿中大部分插图。

本书获得国家自然科学基金项目(61374114, 51579024)的资助,在此深表感谢。

由于作者水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,恳请有关专家和读者给予批评指教。

作者

2017年8月于大连海事大学

目 录

前言

第 1 章	智能控制与船舶自动化系统概述	1
1.1	智能控制概述	1
1.1.1	智能控制的基本概念	2
1.1.2	智能控制的研究对象	3
1.1.3	智能控制的结构理论	4
1.1.4	几种典型的智能控制系统	6
1.1.5	智能控制与传统控制的关系	17
1.1.6	智能控制的前景和展望	18
1.2	船舶自动化系统概述	19
1.2.1	船舶运动控制装置	22
1.2.2	船舶操纵与主推进联合智能控制	24
1.2.3	运输船舶的自主智能控制与无人驾驶	25
1.2.4	自主式水下航行器的运动智能控制	27
1.3	典型船舶自动化系统	28
1.3.1	船舶自动舵控制系统	28
1.3.2	船舶柴油主机遥控系统	30
1.3.3	船舶减摇鳍控制系统	31
1.3.4	船舶动力定位系统	33
1.3.5	船舶电站自动化系统	34
	参考文献	36
第 2 章	船舶自动舵智能控制	38
2.1	概述	38
2.1.1	船舶自动舵系统简介	38
2.1.2	船舶自动舵系统实例	41
2.2	水面船舶操纵运动数学模型	47
2.2.1	标准的三自由度船舶平面运动数学模型	47
2.2.2	简化的三自由度船舶平面运动数学模型	48
2.3	“育鲲”轮船舶运动数学模型仿真算例	49

2.4	船舶自动舵智能控制算法	53
2.4.1	船舶航迹跟踪 Backstepping 鲁棒控制	53
2.4.2	船舶航迹保持分段鲁棒自适应切换镇定智能控制	63
2.4.3	基于全局动态非线性滑模的欠驱动水面船舶航迹跟踪控制	72
2.5	小结	81
	参考文献	82
第 3 章	船舶减摇鳍智能控制	84
3.1	船舶横摇减摇技术综述	84
3.1.1	艏龙骨	84
3.1.2	减摇水舱	85
3.1.3	减摇鳍	85
3.1.4	舵减摇	86
3.1.5	零低航速减摇鳍	86
3.1.6	联合控制减摇技术	87
3.2	海浪数学模型	88
3.2.1	波幅模型与海浪频谱	88
3.2.2	波倾角模型与波倾角频谱	89
3.2.3	海浪数字仿真	91
3.3	船舶横摇运动数学模型	94
3.3.1	船舶线性横摇受力分析	94
3.3.2	线性横摇运动数学模型	96
3.3.3	船舶非线性横摇运动数学模型	98
3.3.4	船舶横摇运动数字仿真	100
3.4	船舶横摇运动预报	101
3.4.1	船舶横摇运动时间序列小波分析	101
3.4.2	基于小波变换和神经网络组合模型的横摇运动预测	104
3.5	船舶横摇减摇控制方法	107
3.5.1	船舶横摇减摇原理	107
3.5.2	船舶减摇鳍逆模式小波神经网络自适应控制	111
3.5.3	船舶横摇减摇滑模控制	117
3.6	小结	126
	参考文献	126
第 4 章	船舶动力定位系统智能控制	128
4.1	船舶动力定位系统的基本概念	128

5.1	4.1.1 船舶动力定位系统的定义	128
5.1	4.1.2 船舶动力定位系统的组成	128
6.1	4.1.3 船舶动力定位系统的原理	129
7.1	4.2 船舶动力定位系统建模	130
8.1	4.2.1 船舶动力定位系统的运动模型	131
8.1	4.2.2 船舶动力定位系统的推力分配模型	135
8.4	4.2.3 船舶动力定位系统建模实例	137
8.4	4.3 船舶动力定位系统的控制	141
8.4	4.3.1 船舶动力定位系统控制方法分类	141
8.5	4.3.2 工业范式下的船舶动力定位控制	142
8.5	4.3.3 模型范式下的船舶动力定位控制	142
8.6	4.3.4 抗扰范式下的船舶动力定位控制	160
8.6	4.3.5 船舶动力定位控制的发展方向	172
8.7	4.4 小结	173
8.8	参考文献	173
8.8	第 5 章 船舶运动与主推进装置联合智能控制	176
8.9	5.1 船舶运动与主推进装置联合控制机理	176
9.1	5.1.1 船舶运动控制的复杂性	176
9.4	5.1.2 船舶运动与主推进装置控制存在强耦合性	177
9.4	5.1.3 船舶运动与主推进装置联合控制的方法与意义	178
9.6	5.2 线性变参数系统控制的数学基础	179
9.8	5.2.1 赋范空间、Banach 空间、内积空间、Hilbert 空间及零空间	179
10.0	5.2.2 信号范数和系统范数	180
10.1	5.2.3 凸集、凸包及凸体	180
10.1	5.2.4 Hermite 矩阵和矩阵 Kronecker 乘积	181
10.4	5.2.5 线性矩阵不等式	182
10.7	5.2.6 基于 LMI 的 H_{∞} 鲁棒控制	184
10.7	5.3 线性变参数控制理论	191
11.1	5.3.1 线性变参数控制理论的基本方法	191
11.1	5.3.2 LPV 多胞系统	193
12.0	5.3.3 切换 LPV 系统简介	194
12.0	5.3.4 多胞变增益状态反馈 H_{∞} 控制	195
12.0	5.4 船舶航向 LPV 控制	196
12.8	5.4.1 船舶运动模型 LPV 表示	196

5.4.2	LPV 多胞输出反馈航向控制	199
5.4.3	基于切换 LPV 的船舶航向控制	203
5.5	基于极点配置的 LPV 状态反馈船舶运动联合智能控制	207
5.5.1	基于圆域极点配置的多胞变增益状态反馈 H_{∞} 控制器设计	208
5.5.2	船舶航向与柴油主机联合智能控制	210
5.5.3	欠驱动船舶直线航迹与柴油主机 LPV 联合智能控制	216
5.5.4	浅水域船舶航向与柴油主机 LPV 联合智能控制	221
5.6	小结	225
	参考文献	227
第 6 章	船舶智能导航系统	230
6.1	船舶导航系统简介	231
6.1.1	无线电导航系统	234
6.1.2	卫星导航系统	235
6.1.3	组合导航系统	236
6.2	综合船桥系统的配置和功能	239
6.2.1	综合船桥系统的配置	239
6.2.2	综合船桥系统的船舶导航功能	241
6.3	船舶综合船桥系统网络技术	241
6.3.1	概述	241
6.3.2	三层结构的一体化网络体系	242
6.3.3	网络通信协议	244
6.3.4	网络冗余性设计	246
6.4	综合船桥系统导航信息融合	247
6.4.1	基本原理和主要任务	247
6.4.2	滤波方法和算法	248
6.5	粒子滤波在多传感器融合中的应用	260
6.5.1	集中式融合的标准粒子滤波	260
6.5.2	二阶集中式粒子滤波	261
6.5.3	二阶自适应权值粒子滤波的多传感器信息算法	262
6.5.4	仿真结果与实验分析	263
6.6	基于 FNN 的 GPS/INS/LOG 组合导航方法的应用	269
6.6.1	GPS/INS/LOG 组合导航模型	269
6.6.2	GPS/INS/LOG 组合导航系统	271
6.6.3	基于 FNN 的 GPS/INS/LOG 组合导航系统	272

6.6.4 实船实验	276
6.7 小结	281
参考文献	282
第 7 章 船舶智能避碰系统	284
7.1 概述	284
7.1.1 船舶避碰	285
7.1.2 船舶决策支持系统	285
7.2 船舶避碰方法研究	286
7.2.1 船舶避碰基本概念	286
7.2.2 船舶避碰研究现状	288
7.2.3 船舶避碰研究分析	290
7.3 基于软计算方法的船舶智能避碰	294
7.3.1 基于神经网络的船舶智能避碰	294
7.3.2 基于遗传算法的船舶智能避碰	296
7.3.3 基于模糊逻辑的船舶智能避碰	301
7.4 船舶航迹规划研究	312
7.4.1 船舶航迹数学模型的建立	312
7.4.2 航路规划	317
7.4.3 算法运行速度的提高	319
7.4.4 计算结果	321
7.5 船舶操纵决策支持系统	325
7.5.1 船舶操纵决策支持系统概述	325
7.5.2 船舶操纵决策支持系统结构	326
7.5.3 航迹库算法	327
7.5.4 模拟结果	328
7.6 小结	334
参考文献	335
第 8 章 欠驱动自主式水下航行器的运动智能控制	337
8.1 概述	337
8.2 欠驱动 AUV 运动模型及其特性分析	340
8.2.1 欠驱动 AUV 运动学方程	340
8.2.2 欠驱动 AUV 动力学方程	344
8.2.3 欠驱动 AUV 运动系统特性分析	346
8.3 欠驱动 AUV 控制系统构成	351

8.4 欠驱动 AUV 基本运动智能控制	353
8.4.1 欠驱动 AUV 运动控制概述	353
8.4.2 欠驱动 AUV 的航速控制	358
8.4.3 欠驱动 AUV 的航向智能控制	362
8.4.4 欠驱动 AUV 的纵倾及深度控制	364
8.5 欠驱动 AUV 目标跟踪智能控制	367
8.5.1 欠驱动 AUV 三维路径跟踪控制	367
8.5.2 欠驱动 AUV 轨迹跟踪控制	373
8.6 小结	382
参考文献	382

附录 本书部分专业术语中英文对照表	384
-------------------------	-----

彩图

第 1 章 智能控制与船舶自动化系统概述

智能控制是当今多学科交叉的前沿领域之一,已经逐渐成为一门新的学科,是自动控制发展的高级阶段。纵观智能控制产生、发展的历史背景与现状,其研究始终是面向解决包括经典控制、现代控制、自适应控制、鲁棒控制及大系统理论等传统控制理论方法所难以解决的不确定性和非线性问题。自动化科学技术所面临的控制对象的复杂性、环境的复杂性、控制目标的复杂性愈益突出,智能控制的研究正是提供了解决这类问题的有效手段,集中表现在控制工程中运用智能方法解决复杂系统的自动化技术已取得了相当多的成功;但智能控制的理论研究的实质性进展亟待增强,宏观上需要寻求突破智能控制面临的一些关键问题的新思路。早在第二次世界大战期间,设计制造飞机及船用自动驾驶仪,开发火炮定位系统和雷达跟踪系统等工程实践,促进了自动控制理论的产生和发展。船舶操舵系统控制问题的研究曾产生了经典比例-积分-微分(PID)控制方法。20 世纪 50 年代,人们提出了船舶自动化的概念,无人值班机舱成为船舶自动化的典型设计。运输船舶自动化系统主要包括无人值班机舱、集成驾驶系统、货运监控系统和船舶管理信息系统等。近年来,船舶自动化系统的高精度化、网络化、智能化趋势明显,这也为实现运输船舶的自主智能控制与无人驾驶提供了坚实的技术基础。这些应用高新技术的船舶自动化系统的工程实践也推动了智能控制理论和技术的发展。

1.1 智能控制概述

早期的自动控制基本上是解决简单对象的控制问题。人们追求研制完全自动运行不需要人参与的“自治系统”。随着被控制对象的愈益复杂,系统所处的环境因素、控制性能要求都列入了控制系统设计的考虑范围。已有的自动控制方法和技术受到了不同程度的挑战,尤其在学习控制研究与机器人控制方面,矛盾日渐突出,迫切需要为自动控制学科注入新的活力。

智能控制作为自动控制发展的高级阶段,它采用多种智能化技术实现复杂系统的控制目标,是一种新的具有强大生命力的自动控制技术。智能控制的产生和发展,反映了当代自动控制理论和自动化系统技术的发展趋势。现代科学技术的快速发展和重大进步,对自动化系统提出了新的更高的要求;传统控制理论在应用中遇到了许多难题和挑战,促使自动控制寻找新的理论方法和解决方案。近几十年的控制理论研究和工程实践历程说明,实现控制系统的智能化,是解决上述难题和面临挑战

的一种有效途径。智能控制已成为控制科学与工程学科发展进程中一个重要的里程碑,它逐渐发展成为一种日趋成熟和完善的控制技术,获得了日益广泛的应用,体现出自动化科学技术发展的必然趋势。

智能控制是自动控制与人工智能等学科结合的一门新兴的边缘交叉学科,智能控制的产生及发展与控制论、系统论、信息论、仿生学、神经生理学、进化计算和计算机等多种学科的高度综合和集成紧密相关^[1]。智能控制是当今国内外自动化学科中一个十分活跃和具有挑战性的领域,是当今科学技术发展的最新方向之一。智能控制目前尚未建立起一套完整的理论体系,是一门仍在不断发展和丰富的具有多学科集成特点的科学技术。它不仅包含了自动控制、人工智能、系统理论和计算机科学的内容,而且还从生物学、心理学等学科中汲取丰富的营养,正在成为自动化领域中最兴旺和发展最迅速的一个学科分支,已成为一种提高国家竞争力的核心技术。

下面简述智能控制的基本概念、特点、结构理论和研究对象,分析智能控制和传统控制的关系,简要介绍分级递阶控制系统、神经网络控制系统、模糊控制系统、专家控制系统、仿人智能控制系统和学习控制系统等几种典型的智能控制类型。

1.1.1 智能控制的基本概念

1. 智能控制的含义

智能控制,简单地说就是在传统的控制理论中引入如逻辑、推理和启发式规则等因素,使之具有某种“智能”性。但是,目前仍难以对智能控制做出完整的定义。

人工智能、专家系统、智能控制、神经网络、模糊逻辑、遗传算法、软计算、人工生命、人工免疫、人工情感和计算智能等术语,它们大体上属于智能控制和智能系统的研究范围。智能系统是一个开放的研究领域,现在要作完整准确的定义几乎是不可能的,随着新的实现手段的不断涌现以及应用领域的不断扩展,智能系统的内涵不断地得到补充,其研究也处于持续的发展之中。智能控制的概念和原理是针对被控对象及其环境、控制目标或任务的复杂性和不确定性而提出来的。对“智能控制”这一术语还没有确切严格的定义,IEEE控制系统协会归纳为:智能控制系统必须具有模拟人类学习(learning)和自适应(adaptation)的能力。定性地说,智能控制系统应具有学习、记忆和大范围的自适应和自组织能力;能够及时地适应不断变化的环境;能有效地处理各种信息,以减小不确定性;能以安全可靠的方式进行规划、生产和执行控制动作而达到预定的目标和良好的性能指标。从仿人的角度,智能控制系统是一种模仿、延伸和扩展人的身体动觉智能的人工智能系统。

2. 智能控制的特点

智能控制主要用于处理两大类问题:一是难以用数学模型进行准确描述的大规

模和复杂非线性系统,往往需要引入人的因素才能实现有效的控制;二是控制目标通常需要分解成多个子任务的系统。由于这些系统通常是时变和不确定的,用传统的控制理论难以建立合适的控制器,而需要像人那样根据经验进行学习、推理和决策。智能控制系统的特点包括而不限于:

(1)智能控制系统具有较强的学习能力。系统对未知环境提供的信息进行识别、记忆、学习、融合、分析、推理,并利用积累的知识和经验不断优化、改进和提高自身的控制能力。

(2)智能控制系统具有较强的自适应能力。系统具有适应受控对象动力学特性变化、环境特性变化和运行条件变化的能力。

(3)智能控制系统具有足够的关于人的控制策略、被控对象及环境的有关知识以及运用这些知识的能力。

(4)智能控制系统具有判断决策能力。系统的一般组织结构满足“智能递增,精度递减”的基本原理,具有高度可靠性。

(5)智能控制系统具有较强的容错能力。系统对各类故障具有自诊断、屏蔽和自恢复能力。

(6)智能控制系统具有较强的鲁棒性。系统性能对环境干扰和不确定性因素不敏感。

(7)智能控制系统具有较强的组织功能。系统对于复杂任务和分散的传感信息具有自组织和协调功能,使系统具有主动性和灵活性。

(8)智能控制系统的实时性好。系统具有较强的在线实时响应能力。

(9)智能控制系统的人-机协作性能好。系统具有友好的人-机界面,以保证人-机通信、人-机互助和人-机协同工作。

(10)智能控制系统具有变结构和非线性特点。其核心在高层控制,即组织级,能对复杂系统进行有效的全局控制,实现广义问题控制。

(11)智能控制系统具有总体自寻优特性。

(12)智能控制系统应能满足多样性目标的高性能要求。

3. 智能自动化

“智能自动化”是自动化科学技术的高级阶段和发展方向,它包括人的智能活动和脑力劳动自动化的含义,也是各领域自动化系统、装置和产品的开发策略。

智能自动化(intelligent automation)通常指:应用人工智能的方法,具有拟人智能的特征、智能水平更高的自动化;将人工智能的理论、方法和技术应用于各种自动化系统,实现具有较高智能水平的自动化。

1.1.2 智能控制的研究对象

智能控制主要用来解决那些用传统方法难以解决的复杂系统的自动控制问题。

其中包括智能机器人系统、船舶与海洋工程自动化系统、航空航天控制系统、交通运输系统、计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system, CIMS)、复杂的工程过程控制系统、环境及能源系统和社会经济管理系统等。智能控制的研究对象通常具备以下一些特点。

1. 不确定性的模型

传统控制一般需要已知被控对象的数学模型,这里的模型包括控制对象和干扰的模型。对于传统控制通常认为模型已知或者通过辨识可以得到。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可能在很大范围内变化。无论哪种情况,传统方法都难以对它们进行控制,而这正是智能控制所要解决的问题。

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,非线性控制理论还不成熟,而且方法比较复杂。采用智能控制的方法往往可以较好地解决非线性控制系统的问题。

3. 复杂的任务要求

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(跟随系统),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,要求系统对于一个复杂的任务具有自行规划和决策的能力,有自动避让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,除了要求对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。对于这些用传统控制方法难以解决的复杂任务要求,采用智能控制可满足其控制要求。

1.1.3 智能控制的结构理论

智能控制是一种多学科的交叉。著名美籍华裔学者傅京孙(Fu K S)教授在 1971 年的文章中提出它为人工智能(artificial intelligence, AI)与自动控制(automatic control, AC)的交叉^[2]。后来美国的 Saridis 加进了运筹学(operational research, OR),认为智能控制(intelligent control, IC)是人工智能、运筹学和自动控制三者的交叉^[3]。

傅京孙教授在对含有拟人控制器的控制系统、含有人-机控制器的控制系统、自主式机器人系统这三个涉及学习控制的领域进行研究的基础上,为了强调系统的问题求解和决策能力,用“智能控制系统”来包括这些系统,并提出了智能控制是自动控制与人工智能的交集。由于历史条件的限制,其中的人工智能很大程度上还局限于符号主义的人工智能。

Saridis 在 1977 年提出了由自动控制、人工智能和运筹学的交集构成的三元结构,如图 1-1 所示。Saridis 认为,构成二元交集的自动控制和人工智能相互支配,无助于智能控制的有效和成功应用,所以,需要引入运筹学。这种三元结构后来成为 IEEE 第一届智能控制研讨会的主题之一^[4]。

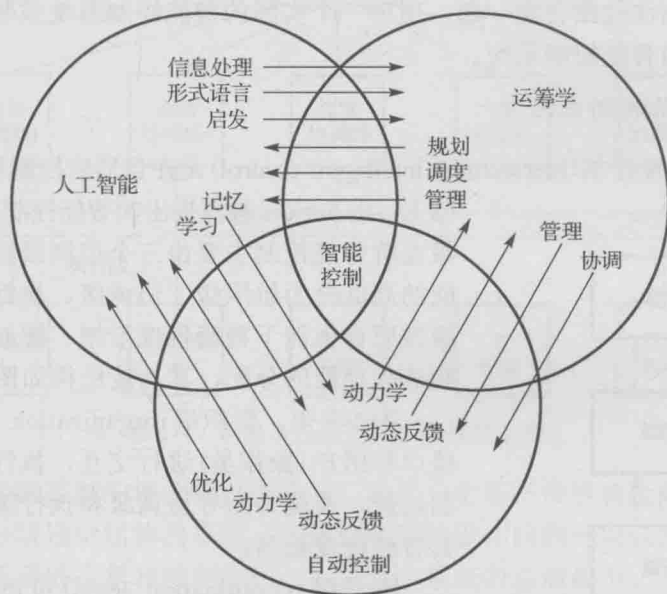


图 1-1 智能控制的多学科交叉

在考虑信息论对知识和智能的解释作用、控制论和系统论与信息论之间的密切关系、信息论对智能控制的作用等方面的因素之后,我国学者蔡自兴教授提出了智能控制的四元结构,在三元结构的基础上增加了信息论(information theory, IT 或 informatics)作为智能控制的一个重要组成部分。把智能控制看作自动控制、人工智能、信息论和运筹学四个学科的交集,如图 1-2 所示^[5]。

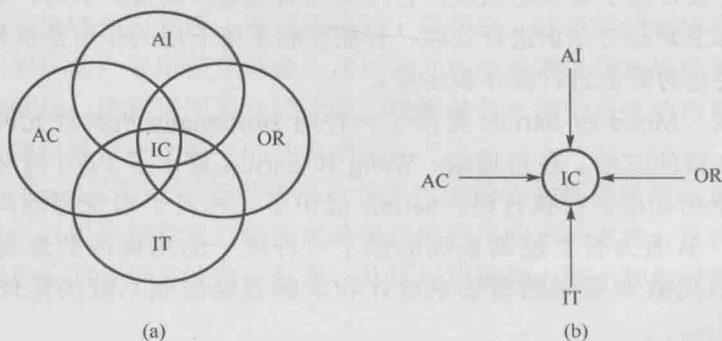


图 1-2 智能控制的四元结构

1.1.4 几种典型的智能控制系统

智能控制系统一般包括分级递阶控制系统、神经网络控制系统、模糊控制系统、专家控制系统、仿人智能控制系统和学习控制系统等典型系统。但在实际运用中,几种方法和机制往往结合在一起,用于一个实际的智能控制系统或装置,从而建立起混合或集成的智能控制系统。

1. 分级递阶控制系统

分级递阶智能控制(hierarchical intelligent control)是在自适应控制和自组织控制基

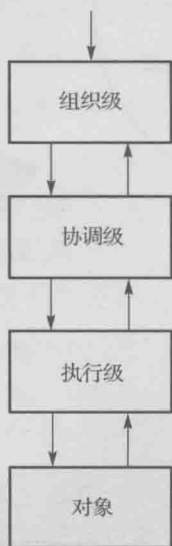


图 1-3 分级递阶智能控制功能结构图

础上,由 Saridis 教授提出的智能控制系统结构^[6]。分级递阶智能控制主要由三个控制级组成,按控制智能的高低分为组织级、协调级、执行级,并且这三级按照自上而下精确程度渐增、智能程度逐减的原则进行功能的分配,其功能结构如图 1-3 所示。

图 1-3 中,组织级(organization level)通过人机接口和用户(操作员)进行交互,执行最高决策的控制功能,监视并指导协调级和执行级的所有行为,其智能程度最高。

协调级(coordination level)可进一步划分为两个分层:控制管理分层和控制监督分层。

执行级(executive level)的控制过程通常是执行一个确定的动作。

图 1-4 所示为一个典型的智能机器人的分级递阶结构。

智能控制系统上层的作用主要是模仿人的行为功能,因而主要是基于知识的系统。它所实现的规划、决策、学习、数据的存取、任务的协调等主要是对知识进行处理。智能控制系统下层的作用是执行具体的控制任务。它主要是对数值进行操作和运算。

在组织级,Moed 和 Saridis 提出了一种用 Boltzmann 机神经网络来实现推理、规划和决策的方法。在协调级,Wang 和 Saridis 提出了 Petri 网转换器方法来实现语言决策的功能。在执行级,Saridis 提出了一种对于系统控制问题用熵进行测试的方法,从而为智能控制系统提供了一种统一的用熵函数来表示的性能测度。因而可以用数学规划的方法来设计和求解智能控制系统的最优操作与控制问题。