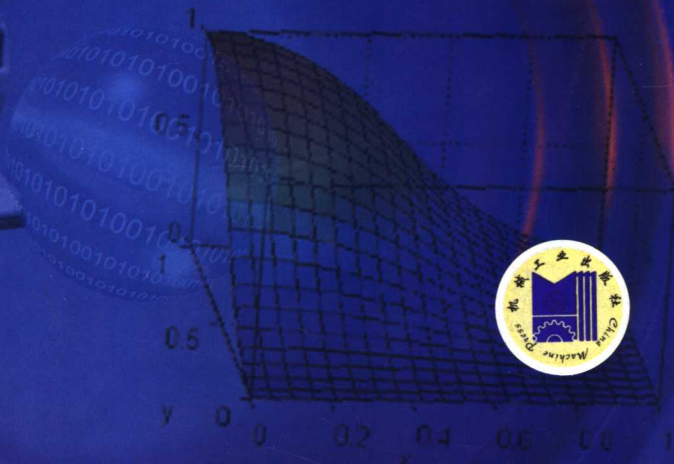



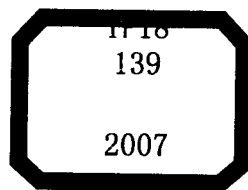
研究生教学用书

智能控制与智能系统

许力 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



研究生教学用书

智能控制与智能系统

许力 编著

机械工业出版社

智能控制与智能系统是近 20 多年发展起来的一门新兴学科。本书系统介绍了智能控制和智能系统的基本概念、工作原理、实现方法、应用设计实例、研究进展和主要学术观点。主要内容包括：专家系统与专家控制、模糊集合与模糊逻辑控制、遗传算法与进化计算、各种神经网络模型、基于神经网络的学习控制等，并简要介绍了多智能体系统、人工免疫和人工情感等前沿领域的研究成果。本书论述严谨、内容详实、深入浅出，所引用文献均清楚标明，便于读者进一步查阅和了解。

本书可作为信息、自动化和计算机应用等专业的硕士、博士研究生以及高年级本科生的教材，也可供相关教师和工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

智能控制与智能系统 / 许力编著. —北京: 机械工业出版社, 2006. 12
研究生教学用书

ISBN 978-7-111-20463-3

I. 智… II. 许… III. ①智能控制—研究生—教材②人工智能—
研究生—教材 IV. ① TP273② TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 145432 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 于苏华 周 娟 责任编辑: 于苏华

版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉

封面设计: 陈 沛 责任印制: 洪汉军

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2007 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 12.125 印张 · 470 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-20463-3

定价: 32.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379728

封面无防伪标均为盗版

序

智能控制的研究历史已超过 20 年。如果图灵 (Alan Turing) 能被称为是人工智能定义之父的话,那么,智能控制可追溯到 50 多年前计算机科学中的人工智能。从那以后,人工智能逐渐成为研究热点,在 20 世纪 80 年代中期,人工智能的研究规模达到了顶峰。到了 80 年代末,公众才认识到人工智能不能达到专家们以前所承诺的地步。另一方面,智能控制的研究引起极大的关注并获得很大的成功,这与人工智能形成鲜明的对照。我认为这里有两方面的原因:其一,智能控制只是在控制系统中引入某种程度的“智能”,以使系统工作得更好。对智能的利用以及对智能控制系统性能的期望都是现实的,因此,智能控制的研究赢得了学术界的普遍支持并得到持续的发展。人工智能是在人们还没有真正了解大脑的工作机理的情况下,试图用机器来取代人类,因而是不可能实现的;而智能控制是为了使机器工作得更好,这当然受到普遍欢迎,因为在工作效率等方面,人永远不可能取代现有的机器;反之亦然。其二,智能控制以坚实的数学及物理模型为基础,这与人工智能有着本质的不同,后者由于缺乏系统的理论指导而没有真正成为一门科学。结果是,智能控制比人工智能来得晚,却成为教学和科研当中更关注和更重要的领域。

智能控制还是一个很年轻的领域,近些年来却发展得异常迅猛。智能控制从反馈环节加一些简单的智能,发展到各项技术和工具都可以单独地成为研究生教学和研究的重要主题,具体包括模糊集合、模糊逻辑和模糊控制、人工神经网络、多层感知器、小脑模型关节控制器 (CMAC)、遗传算法、自组织网络,等等。与此同时,智能控制也得到了广泛的应用,从洗衣机到机器人系统,从汽车到先进的无人驾驶飞行器 (UAV),从医疗诊断到生物数据分析,从金融规划到旅行安排,等等。几乎我们日常生活的各个方面都可能用到一些智能控制而不是人工智能,这就使得智能控制成为自动化专业的本科生和研究生所必须掌握的基本知识,对于要利用新的工具来开发先进和复杂系统的工程师也同样重要。

智能控制是一个发展迅速的领域,作者许力教授力图通过本书把各个独立和重要的主题联系起来并提供比较全面的介绍,并且很巧妙地把智能控制与智能系

注:本序的原文为英语,此翻译稿已得到序作者认可。序作者郑元芳为美国俄亥俄州立大学 (OSU, The Ohio State University) 教授, IEEE Fellow, 美国青年学者总统奖获得者,曾担任 OSU 电机系主任, IEEE Robotics and Automation Society 副主席。

IV

统自然而紧密地结合在一起。据我所知，作者在浙江大学为研究生讲授智能控制课程已有多年的，并且在智能控制和智能系统的研究方面发表了不少学术论文，本书反映了他长期教学和科研经验的积累。作者对智能控制的历史和发展现状有着比较全面的掌握，书的第1章回顾了人工智能与智能系统的历史，介绍了几乎所有关键人物和相应的工作。几乎每一章的末尾都列出大量的参考文献，其时间跨度从1970年到2006年。本书的一个独到之处是，作者不仅介绍了智能控制的各项技术，而且还对智能系统所涉及的更多更新的技术和更广的领域展开了讨论，例如，更多地出现在人工智能中的专家系统。事实上，专家系统是人工智能领域中为数不多的成功事例之一。因此，对于想要学习智能控制与智能系统的基础知识和了解其发展现状的读者而言，这是一本很好的参考书。

20世纪90年代，许力教授曾在美国俄亥俄州立大学我的课题组学习和工作过。我为他所取得的成就和本书的出版感到高兴，希望读者也能像我一样地喜欢这本书。

郑元芳

美国俄亥俄州立大学电气与计算机工程系

2007年1月

前 言

智能系统指具有一定智能行为的系统，而人类是最终的智能系统。应用于控制领域的智能系统就是智能控制系统。智能控制是控制理论、计算机科学、心理学、生物学和运筹学等综合而成的交叉学科。智能系统是一个在内容和范围上都比智能控制大得多的研究领域，并且处于持续发展之中，目前尚未形成完整、成熟的理论体系，甚至要对其中的某些分支作完整准确的定义也几乎是不可能的。期盼本书能起到抛砖引玉的作用，引发读者更多的研究兴趣，促进智能控制和智能系统研究的发展。

本书结合作者 20 年来从事智能控制与智能系统研究的体会，参考国内外众多相关文献，对所涉及的理论、技术和方法有选择、有重点地进行比较全面的介绍。作者从 1986 年起开始有关专家控制和模糊控制的研究，随后是神经网络、学习控制、进化计算和人工情感等。从 1999 年起，每年一次为浙江大学电气工程学院的博士生讲授学位课程“智能控制与智能系统”。国内外的许多重要文献对本书的编写起了重要作用，例如，Zadeh 的模糊集合理论、Albus 的关于 CMAC 的论文、Miller 的关于 CMAC 应用于机器人控制的论述、Holland 的著作《Adaptation in natural and artificial systems》、Barto 和 Watkins 的关于再励学习的论文、Åström 的关于专家控制的论文和著作章节等等，在此无法一一列举。其中，有部分论文是讲授“智能控制与智能系统”课程时要求博士生必读的参考资料。Jordan 在 OSU 开设的关于带约束条件的监督学习和远程学习控制的讲座及相关论文为本书提供了重要素材。作者的部分研究成果也融入了本书的相关章节，例如，部分连接的多层感知器、基于人-机在线协作的学习控制策略、人工情感的研究综述等等。

本书共分 12 章。

第 1 章绪论，简要介绍智能控制的含义、形成与发展过程和应用实例。

第 2 章专家系统和专家控制，主要介绍专家系统的基本概念和组成、专家系统涉及的知识表示、黑板、推理与产生式系统等重要概念，以及专家控制系统的组成、原理和应用实例。

第 3 章模糊集合理论，这是模糊控制的数学基础，主要介绍模糊集合的定义和表示方法、隶属函数的概念和类型、模糊关系以及模糊推理的主要模型等。

第 4 章模糊控制，主要介绍模糊控制的基本原理、系统组成、模糊控制器的设计、模糊控制与 PID 控制器的结合以及模糊控制的应用实例。

第5章人工神经网络基础, 主要介绍神经网络的分类、人工神经元模型、包括 M-P 神经元、Adaline 和 Perceptron 等简单而经典的神经网络模型。

第6章多层感知器与 BP 算法, 详细介绍多层感知器的网络结构和误差反向传播算法, 简要介绍 BP 算法的各种加速技术, 以及带约束条件的监督学习方法。

第7章 CMAC 与局部性前馈网络, 详细介绍 CMAC 的网络结构和学习算法, 并分析其学习的收敛性, 简要介绍 B 样条网络、径向基函数网络 (RBF) 和部分连接的多层感知器 (PCMLP) 的网络结构及学习算法。

第8章模糊网络和高阶次展开类网络, 主要介绍模糊神经网络 FNN 和 ANFIS 的网络和学习算法, 并介绍高阶网、函数连接网和幂级数网等高阶次展开类网络的概念和工作原理。

第9章竞争性网络与回归型网络, 主要介绍 Kohonen 的自组织映射 (SOM) 网、学习向量量化机 (LVQ) 和离散型 Hopfield 的网络结构和学习算法。

第10章基于神经网络的学习控制, 在简要介绍智能控制、学习控制与神经控制的基本含义之后, 按控制问题分类, 介绍用于调整和跟踪问题的直接逆模型法和远程学习控制法, 以及用于最优控制问题的再励学习, 主要包括 ASE/ACE 模型和 Q-学习策略。

第11章遗传算法与进化计算, 主要介绍遗传算法的基本原理和模式理论, 以及常规遗传算法之外的其他编码、选择、交叉、变异方法, 并简要介绍进化计算的另两个重要分支——进化规划和进化策略。

第12章智能系统研究的新领域, 简要介绍多智能体系统、人工免疫和人工情感的基本概念、系统组成和实现方法。

特别感谢郑元芳教授在百忙之中抽时间阅读了书稿, 指出了部分疏漏, 并撰写了序。

由于作者的水平有限, 虽已尽心, 但仍难尽其美, 在本书完成之际仍感诸多不足, 恳请广大专家和读者批评指正。

许力

2007年1月于浙江大学

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 智能系统与智能控制的含义	1
1.1.1 人工智能及其主要学派	1
1.1.2 智能控制	2
1.1.3 智能系统	3
1.1.4 智能控制的结构理论	4
1.2 智能控制的形成与发展概述	6
1.2.1 智能控制学科的形成	6
1.2.2 智能控制历史上的人物和事件	8
1.2.3 智能控制与智能系统的发展趋势	10
1.3 应用概述: 从智能控制到智能系统	12
1.3.1 仙台城市地铁控制系统	13
1.3.2 神经网络在彩色印刷中的应用	13
1.3.3 拓展全球规模的智能系统	13
1.3.4 智能系统在生物数据处理中的应用	14
1.3.5 智能系统在医疗诊断中的应用	14
1.3.6 在线学习的多媒体智能系统	14
1.3.7 智能电子商务	15
1.3.8 用于旅行的智能系统	15
1.3.9 智能系统在电力系统中的应用	16
1.3.10 智能飞行控制系统	17
1.4 开发智能系统的商业化应用	18
1.4.1 改变传统的控制观念	18
1.4.2 考虑为用户带来的回报	19
1.4.3 市场的认可	20
1.4.4 智能控制与传统控制的定位	20
1.5 本书概要与教学建议	21
本章参考文献	22
第 2 章 专家系统与专家控制	26
2.1 专家系统	26

2.1.1 专家系统的基本概念和组成	26
2.1.2 知识表示、黑板、推理与产生式系统	29
2.1.3 专家系统的优缺点	38
2.1.4 建立专家系统的步骤	40
2.2 专家控制	43
2.2.1 专家控制的形成和发展	43
2.2.2 专家控制规范	45
2.2.3 专家控制的知识结构	47
2.2.4 专家控制存在的问题	51
2.3 专家系统和专家控制的应用概况	52
2.3.1 专家系统在工程管理中的应用	52
2.3.2 专家系统在日本工业界的应用	53
2.3.3 专家控制在集散控制中的应用	53
2.4 专家控制系统设计和应用举例	54
2.4.1 工业过程稳态控制的专家控制系统	54
2.4.2 自主式陆地车辆的专家控制: 道路跟随试验	58
2.5 本章小结	60
本章参考文献	61
第3章 模糊集合理论	64
3.1 引言	64
3.2 经典集合的简要回顾	65
3.2.1 经典集合的定义	65
3.2.2 基本术语	65
3.2.3 经典集合的表示方法	66
3.3 模糊集合与隶属函数	66
3.3.1 模糊集合的定义及表示方法	67
3.3.2 模糊集合的运算	69
3.3.3 模糊集合运算的性质	72
3.4 隶属函数的类型与建立	72
3.4.1 隶属函数确定的常用方法	73
3.4.2 隶属函数的形状和类型	75
3.4.3 建立隶属函数应遵循的原则	78
3.4.4 模糊集合的扩展原理	80
3.5 模糊关系与模糊推理	80
3.5.1 关系和关系矩阵	81
3.5.2 模糊关系与模糊关系矩阵	82
3.5.3 模糊关系矩阵的运算	83
3.5.4 模糊语言和语言变量	85

3.5.5 模糊蕴含关系	89
3.5.6 模糊推理	93
3.5.7 模糊推理系统的常见模型	97
3.6 本章小结	103
本章参考文献	103
第4章 模糊控制的原理和设计	104
4.1 模糊控制的基本原理	104
4.1.1 模糊化	105
4.1.2 知识库	109
4.1.3 模糊推理	114
4.1.4 输出解模糊化	117
4.2 模糊控制器的设计	118
4.2.1 离散论域和 Mamdani 模型	119
4.2.2 连续论域和 Mamdani 模型	124
4.2.3 连续论域和 T-S 模型	126
4.3 模糊控制规则的修正与模糊 PID 控制器	128
4.3.1 规则修正因子与模糊控制规则的修正	129
4.3.2 模糊控制器与 PID 控制器的结合	132
4.3.3 常规 PID 控制器参数的模糊自整定	134
4.4 模糊控制应用实例	135
4.4.1 模糊控制的全自动洗衣机	135
4.4.2 交流伺服调速系统的模糊控制	140
4.5 本章小结	146
本章参考文献	147
第5章 人工神经网络基础	148
5.1 人工神经网络的分类	149
5.2 人工神经元模型	150
5.3 活化函数的基本形式	152
5.4 McCulloch-Pitts 神经元、Adaline 和 Perceptron	154
5.4.1 McCulloch-Pitts 神经元	155
5.4.2 自适应线性单元与 Widrow-Hoff 学习规则	156
5.4.3 感知器	158
5.4.4 Hebb 学习	162
5.5 本章小结	166
本章参考文献	166
第6章 前馈网络 I: 多层感知器与 BP 算法	168
6.1 多层感知器的网络结构	168
6.1.1 多层感知器的组成	168

6.1.2 多层感知器的结构特点	169
6.2 误差反向传播 (BP) 算法	170
6.2.1 BP 算法的推导	170
6.2.2 标准的 BP 算法	171
6.2.3 带动量项修正的 BP 算法	172
6.3 一些与 MLP 和 BP 算法相关的问题	175
6.3.1 基于 Sigmoid 函数的 BP 算法的简化形式	175
6.3.2 初始权值的选取	175
6.3.3 网络结构与逼近能力	176
6.3.4 权值修正的批处理方法	176
6.3.5 采用变步长的批处理方法	177
6.3.6 神经网络的训练和测试	178
6.4 BP 算法的加速技术	180
6.4.1 最速下降法	180
6.4.2 牛顿法	182
6.4.3 准牛顿法	183
6.4.4 共轭梯度法	183
6.4.5 Levenberg-Marquardt 算法	185
6.5 带约束条件的监督学习	186
6.5.1 结构约束	187
6.5.2 时间约束	188
6.5.3 结构约束与时间约束的融合	189
6.6 本章小结	189
本章参考文献	190
第 7 章 前馈网络 II: CMAC 与局部性前馈网络	192
7.1 CMAC 的网络结构和学习算法	192
7.1.1 输入空间的离散化 $X \rightarrow S$	192
7.1.2 离散状态空间到记忆空间的非线性映射 $S \rightarrow A$	193
7.1.3 CMAC 网络的训练	198
7.2 CMAC 学习的收敛性分析	200
7.3 B 样条神经网络	202
7.3.1 CMAC 与基函数	203
7.3.2 B 样条神经网络的基函数	205
7.4 径向基函数神经网络	207
7.4.1 RBF 的基函数和输出	208
7.4.2 RBF 的训练	208
7.5 小波神经网络	210
7.6 部分连接的多层感知器	211

7.6.1 PCMLP 的结构和原理	212
7.6.2 PCMLP 的两种形式	214
7.7 本章小结	215
本章参考文献	216
第 8 章 前馈神经网络 III: 模糊网络与高阶次展开类网络	218
8.1 Ichihashi 的模糊神经网络 FNN	218
8.1.1 FNN 的网络结构和基本原理	218
8.1.2 FNN 的训练算法	220
8.2 基于自适应网络的模糊推理系统 (ANFIS)	221
8.2.1 ANFIS 的网络结构	221
8.2.2 ANFIS 的学习	225
8.2.3 多输出的 ANFIS (CANFIS)	225
8.2.4 ANFIS 的应用实例	226
8.3 高阶神经网络	232
8.3.1 HONN 的原理和结构	233
8.3.2 HONN 的学习算法	233
8.4 函数连接网络和随机向量函数连接网络	235
8.5 幂级数网络	240
8.5.1 幂级数网络的结构	241
8.5.2 幂级数网络的修正	242
8.6 本章小结	244
本章参考文献	245
第 9 章 竞争性网络与回归型网络	246
9.1 概述	246
9.2 Kohonen 的自组织映射网 (SOM)	247
9.2.1 竞争性网络	247
9.2.2 Kohonen 的自组织映射网络结构	248
9.2.3 Kohonen 自组织映射网络的学习算法	250
9.3 Kohonen 的学习向量量化机	254
9.3.1 学习向量量化机的网络结构	254
9.3.2 学习向量量化机的学习算法	254
9.4 离散型 Hopfield 网络	256
9.4.1 DHNN 的网络结构	256
9.4.2 DHNN 网络的工作方式	257
9.4.3 稳定性与吸引子	258
9.4.4 连接权设计与记忆容量	259
9.5 本章小结	263
本章参考文献	263

第 10 章 基于神经网络的学习控制	265
10.1 概述	265
10.1.1 智能控制、学习控制与神经控制	265
10.1.2 神经控制的分类	266
10.2 再励学习的动作者-评论家策略	268
10.2.1 倒立摆的学习控制问题	269
10.2.2 盒子系统与状态空间的分割	270
10.2.3 关联搜索单元 (ASE)	271
10.2.4 自适应评判单元 (ACE)	272
10.2.5 基于 ASE/ACE 模型学习控制的仿真结果	273
10.3 再励学习的 Q-学习策略	274
10.3.1 一步 Q-学习	275
10.3.2 基于 Q-网络的 Q-学习	276
10.4 监督学习的直接逆模型法	277
10.4.1 远程监督学习问题	277
10.4.2 直接逆模型法的基本原理	278
10.4.3 基于 CMAC 的机械臂学习控制	278
10.5 监督学习的远程学习法	282
10.5.1 远程学习法的基本原理	282
10.5.2 基于远程学习法的控制系统	283
10.5.3 两关节机械臂的学习控制	284
10.6 基于人-机在线协作的学习控制	285
10.6.1 人-机在线协作的基本原理	286
10.6.2 倒立摆的学习控制	287
10.6.3 仿真结果	289
10.7 关于学习控制的讨论	290
10.7.1 关于神经网络与神经控制	290
10.7.2 再励学习存在的主要问题	291
10.7.3 直接逆模型法与远程学习法	292
10.7.4 再励学习与监督学习	293
10.8 本章小结	293
本章参考文献	294
第 11 章 遗传算法与进化计算	296
11.1 概述	296
11.1.1 遗传算法与进化计算	296
11.1.2 遗传优化与传统优化	297
11.2 遗传算法的基本原理	299
11.2.1 遗传算法的基本操作	299

11.2.2	遗传算法的实现	303
11.2.3	适应值与早熟收敛	304
11.3	遗传算法的模式理论	305
11.3.1	定义长度与模式阶次	305
11.3.2	二进制编码	305
11.3.3	各算子对模式的影响	306
11.4	编码与实数编码	308
11.4.1	二进制编码存在的问题	308
11.4.2	实数编码的各种算子	309
11.5	遗传优化与搜索	313
11.5.1	关于遗传优化	313
11.5.2	关于搜索和产生优秀个体的假设	315
11.5.3	遗传算法与局部搜索启发式方法的结合	315
11.5.4	常见的选择方法	316
11.6	进化策略与进化规划	317
11.6.1	进化策略	318
11.6.2	进化规划	318
11.7	模糊规则用于遗传算法策略参数的调整	319
11.7.1	Zeng-Rabenasolo 方法	320
11.7.2	Wang-Wang-Hu 方法	321
11.7.3	Lee-Takagi 方法	323
11.7.4	Xu-Vukovich 方法	323
11.7.5	Herrera-Viedma-Lozano-Verdegay 方法	323
11.7.6	Herrera-Lozano 方法	324
11.8	遗传算法的应用	325
11.8.1	遗传算法在模糊控制中的应用	325
11.8.2	遗传算法在组合优化中的应用	328
11.9	本章小结	332
	本章参考文献	333
第 12 章	多智能体系统、人工免疫与人工情感	335
12.1	多智能体系统	335
12.1.1	智能体和多智能体系统	335
12.1.2	多智能体系统体系结构和协调机制	338
12.1.3	多智能体协作的研究方法	340
12.1.4	多智能体技术的应用	342
12.2	人工情感	344
12.2.1	概述	344
12.2.2	医学心理学关于情感的主要观点	345

12.2.3 情感识别	346
12.2.4 情感建模	347
12.2.5 人工情感的应用	349
12.3 人工免疫系统	350
12.3.1 人工免疫系统概述	351
12.3.2 生物免疫系统概述	351
12.3.3 人工免疫网络模型	356
12.3.4 人工免疫算法	361
12.3.5 免疫机器人	363
12.4 本章小结	366
本章参考文献	367

第 1 章 绪 论

智能系统是一个开放的研究领域，要作完整准确的定义几乎是不可能的，随着新的实现手段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扩充，其研究也处于持续的发展之中。

1.1 智能系统与智能控制的含义

说到“智能”，人们的第一反应可能就是“是否像人那样去思维和工作？”。确实，人类是最终的智能系统^[4]，目前，人类正在通过建立智能系统来理解生物和我们自身。1997年由IBM开发的人工智能系统Deep Blue（深蓝）击败了卡斯帕罗夫（Kasparov）而成为新的国际象棋世界冠军，这足以证明人工智能的强大威力。然而，具有讽刺意义的是，Deep Blue的每一步的最佳落棋都是计算机复杂计算和搜索的结果，其胜利很大程度上要归功于计算机。所以，Deep Blue的成功并不能说明人工智能优于Kasparov或任何人类。事实上，国际象棋只代表着人类众多“智能”活动中的一个非常狭窄的领域，而且，高水平的棋手往往可以下得更快。

智能控制是一个新的研究领域，术语“智能控制”对于不同的人有不同的含义。所带来的问题是，在某些情况下，智能控制这个名字用得比较随意，有些人把一类控制器重新命名为“智能”，因为这样显得更现代也更容易获得资助^[42]。

“智能”涉及许多熟悉或不熟悉的术语，例如人工智能、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，它们大体上属于智能控制和智能系统的研究范围。由于智能控制和智能系统都是发展中的领域，新的名词不断出现，要对其中的任何一个分支作出完整的定义几乎是不可能完成的任务，因此，本节以“含义”而非“定义”为标题。以下对部分术语的含义进行解释，其余的术语将在后续章节中介绍。

要了解什么是智能控制和智能系统，首先要了解什么是人工智能。

1.1.1 人工智能及其主要学派

美国Heritage词典把“智能”定义为“获取和应用知识的能力”。如果机器能够像人那样执行某种任务，如演算题目、猜谜语、下棋、驾驶汽车和骑自行车，那么，就可以认为机器已具有某种性质的人工智能。蔡自兴教授^[1]首先对智

能机器作了定义，然后，从学科和能力的角度分别对人工智能作了以下的定义。

智能机器：能够在各类环境中自主地或交互地执行各种拟人任务（Anthropomorphic Task）的机器。

人工智能（学科）：计算机科学中涉及研究、设计和应用智能机器的一个分支，其近期研究的主要目标是模仿和执行人脑的某些智力功能，并开发相关理论和技术。

人工智能（能力）：是智能机器执行的通常与人类智能有关的智能行为，如判断、推理、证明、识别、感知、理解、通信、设计、思考、规划、学习和问题求解等思维活动。

人工智能主要有三个学派^[1]：①符号主义（Symbolism），又称为逻辑主义、心理学派或计算机学派，其原理主要是物理符号系统（即符号操作系统）假设和有限合理性原理，基于符号的信息处理是其主要特征；②连接主义（Connectionism），又称为仿生学派或生理学派，其原理主要是神经网络中连接机制和学习算法；③行为主义（Actionism），又称为进化主义或控制论学派，其原理主要是控制论和感知-行为系统。

尽管有不少学者仍沿用以上的学派分类，但是，“人工智能”几乎成为符号主义的人工智能的代名词。在人工智能的发展初期，符号主义在人工智能中占据着绝对主流地位，其中，以专家系统为典型代表，以致于如今谈到人工智能，许多人的反应就是“符号处理”和专家系统。从当今的许多文献可以看到，神经网络和模糊逻辑似乎已经处在一个与人工智能相提并论的地位。例如，当说到智能控制的主要实现手段时，就会提到人工智能、神经网络、模糊逻辑和遗传算法。这里的人工智能就是指符号主义的人工智能，或者干脆加上一个定语，称为“经典的人工智能”。出现这种情况除了以上提到的历史原因外，还在于，符号主义的人工智能与神经网络、模糊逻辑和遗传算法无论在基本思想、系统结构、实现方法以及提出的背景上几乎都完全独立，惟一相近的是，都是从不同的角度对人类或生物智能的模拟。

1.1.2 智能控制

智能控制是控制理论、计算机科学、心理学、生物学和运筹学等多方面综合而成的交叉学科，主要用于处理两大类问题：①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进行有效控制；②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，简单地讲就是在传统的控制理论中引入诸如逻辑、推理和启发式