

智能控制与计算智能

谭宁

副教授

数据科学与计算机学院，无人系统研究所

tann5@mail.sysu.edu.cn



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

课程背景



教师：谭宁

- 办公室：管理学院d104b
- Email: tann5@mail.sysu.edu.cn
- 个人主页：
<http://sdcs.sysu.edu.cn/content/4400>
- 作业提交邮箱： ic_sysu@163.com
- 信息发布QQ群： 126188358



考核方式

- 平时表现： 10%
- 作业/测试： 40%
- 期末考试： 50%



智能控制与计算智能

计算智能（Computational Intelligence, CI）是借助自然界（生物界）规律的启示，根据其规律，设计出求解问题的算法。物理学、化学、数学、生物学、心理学、生理学、神经科学和计算机科学等学科的现象与规律都可能成为计算智能算法的基础和思想来源。从关系上说，计算智能属于人工智能（Artificial Intelligence, AI）的一个分支。

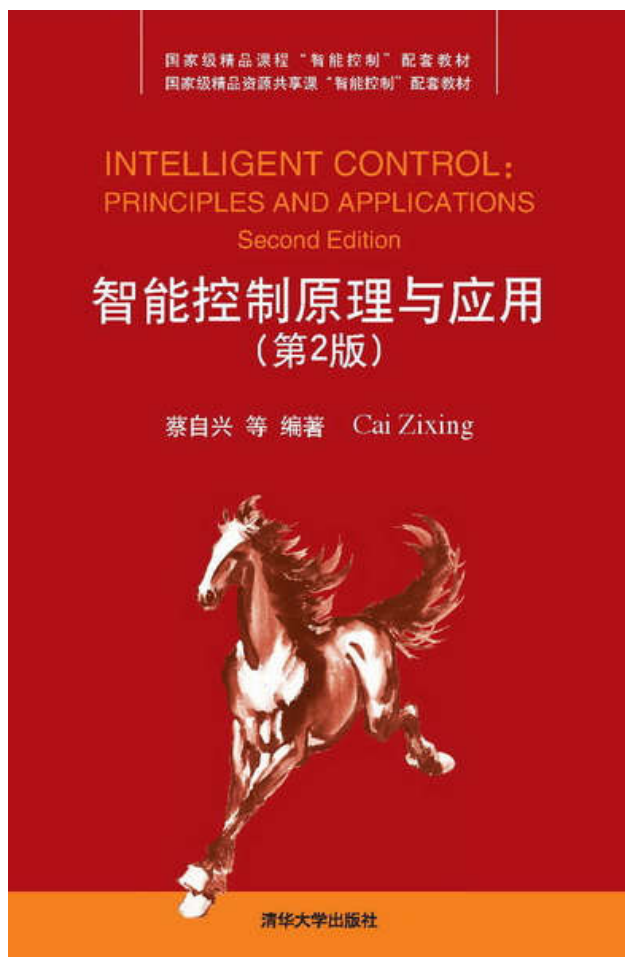
课程背景



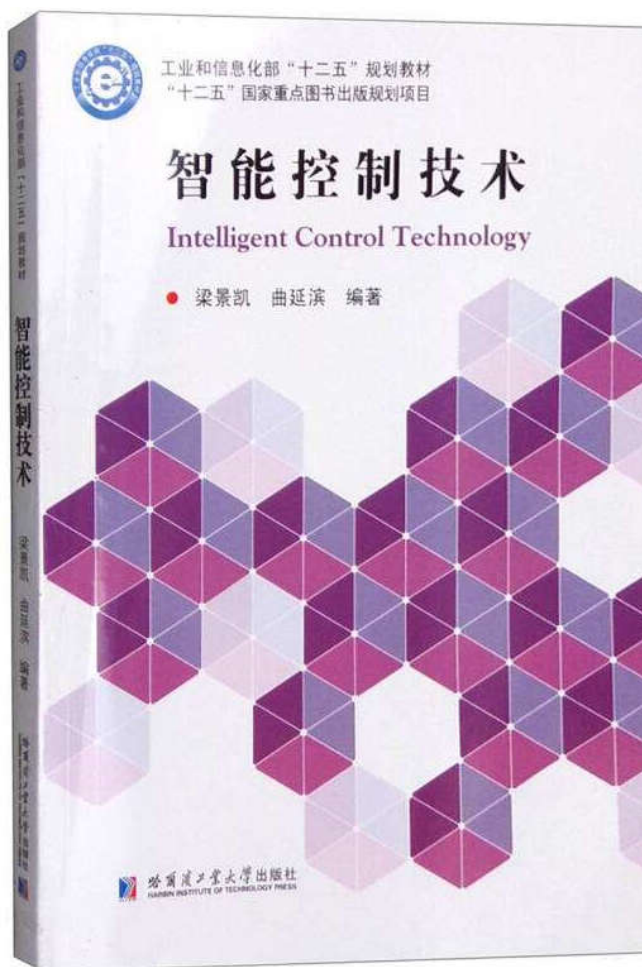
学习目标：

- 1 掌握智能控制的基本概念、框架及原理
- 2 掌握智能控制的分类与设计方法
- 3 学会应用智能控制方法
- 4 了解智能控制的研究发展方向

课程背景



《智能控制原理与应用》蔡自兴，清华大学出版社



《智能控制技术》梁景凯，曲延滨，哈尔滨工业大学出版社

课程背景

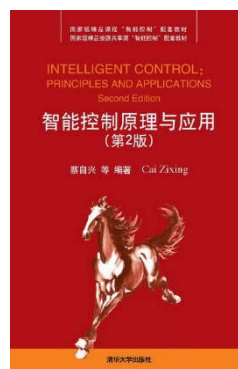


教材比较

- 1 绪论
- 2 专家控制
- 3 模糊控制的理论基础
- 4 模糊控制
- 5 自适应模糊控制
- 6 神经网络理论基础
- 7 典型神经网络
- 8 高级神经网络
- 9 神经网络控制
- 10 智能算法及其应用
- 11 迭代学习控制



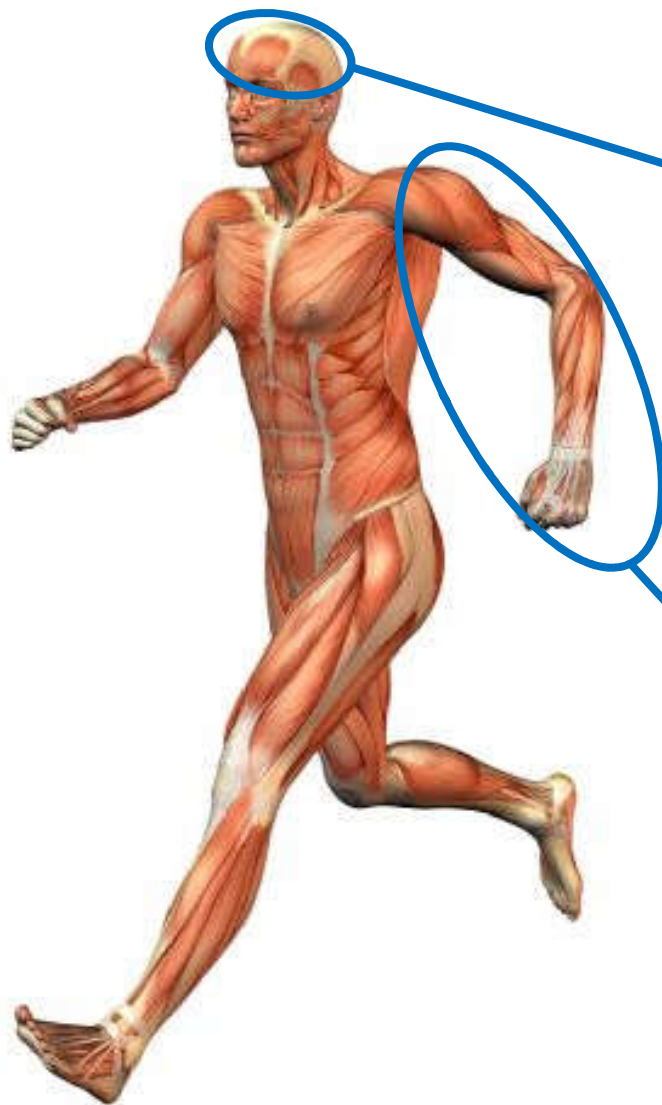
- 1 概论
- 2 递阶控制系统
- 3 专家控制系统
- 4 模糊控制系统
- 5 神经控制系统
- 6 学习控制系统
- 7 多真体控制系统
- 8 进化控制与免疫控制
- 9 网络控制系统
- 10 复合智能控制



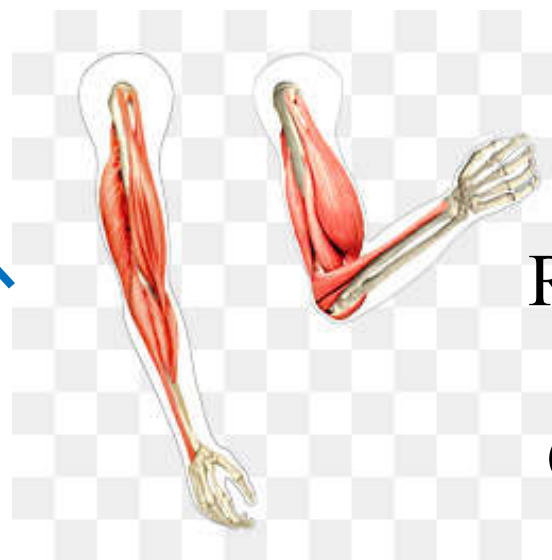
- 1 绪论
- 2 模糊控制的数学基础
- 3 模糊控制
- 4 神经网络
- 5 神经网络控制
- 6 专家控制
- 7 智能算法及其应用



课程背景



AI



Robotics
&
Control



第1章 绪论

Chapter 1 Introduction

1.1 智能控制的发展过程



何为智能控制？

智能控制是驱动智能机器自主地实现其目标的过程。

Intelligent control is a process that drives the intelligent machine to realize its objective autonomously.

1.1 智能控制的发展过程



（一）智能控制的提出

传统控制方法包括经典控制和现代控制，是基于被控对象精确模型的控制方式，缺乏灵活性和应变能力，适于解决线性、时不变性等相对简单的控制问题，难以解决对复杂系统的控制。在传统控制的实际应用遇到很多难解决的问题，主要表现在以下几点：

1.1 智能控制的发展过程



模型问题：

- 实际系统由于存在复杂性、非线性、时变性、不确定性和不完全性等，无法获得精确的数学模型。
- 某些复杂的和包含不确定性的控制过程无法用传统的数学模型来描述，即无法解决建模问题。

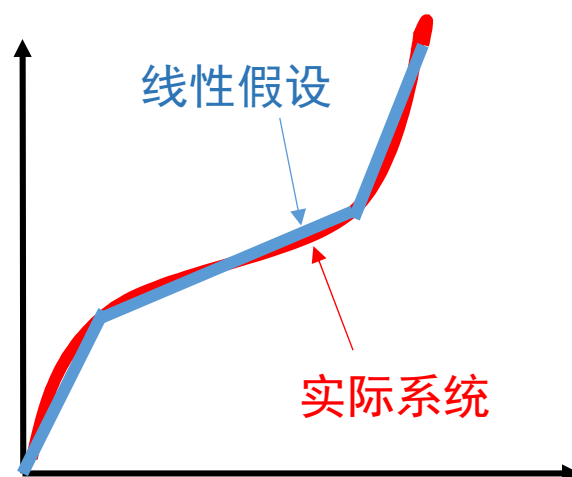


1.1 智能控制的发展过程



实际应用问题：

- 针对实际系统往往需要进行一些比较苛刻的线性化假设，而这些假设往往与实际系统不符合。
- 实际控制任务复杂，而传统的控制任务要求低，对复杂的控制任务，如机器人控制、CIMS、社会经济管理系统等复杂任务无能为力。



1.1 智能控制的发展过程

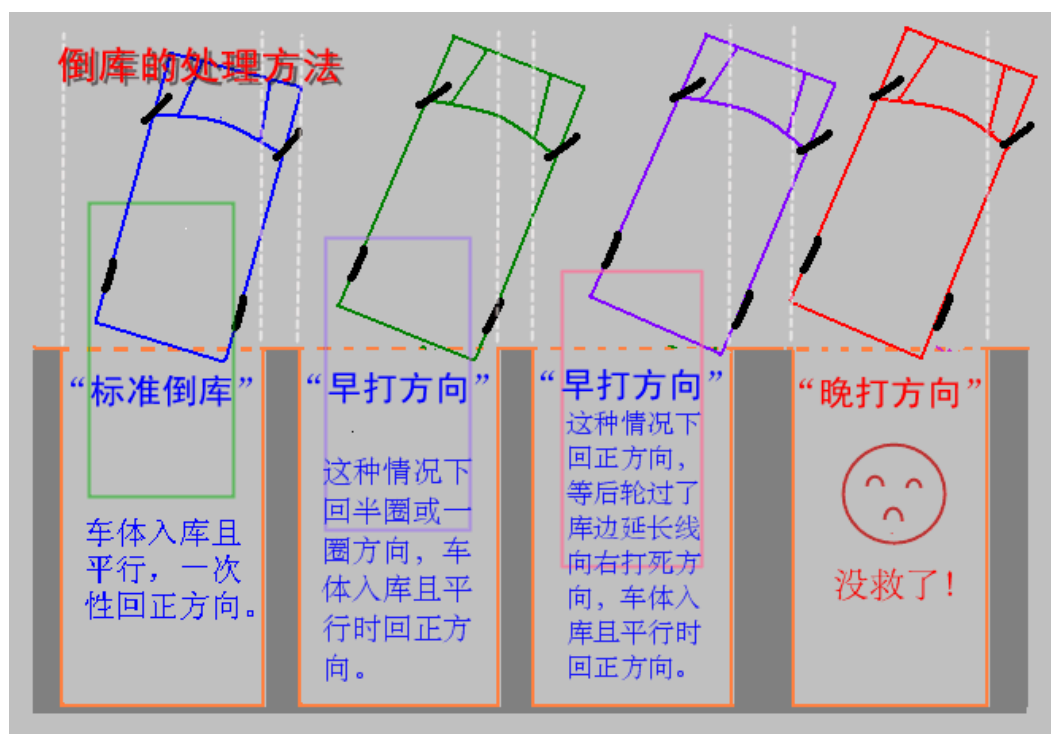


烹饪

工厂



1.1 智能控制的发展过程



倒车入库



1.1 智能控制的发展过程



鸟群

蚁群



1.1 智能控制的发展过程



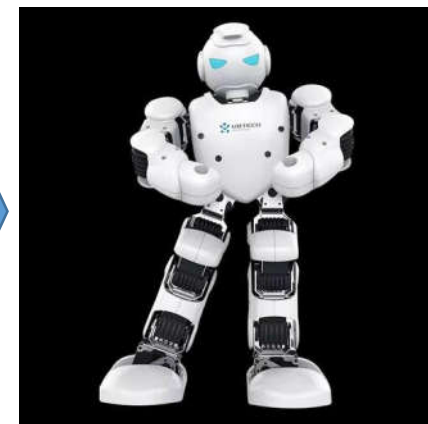
智能控制的解决思路



自然界各类智能现象



计算机模拟与再现



各类控制任务

1.1 智能控制的发展过程



总结：

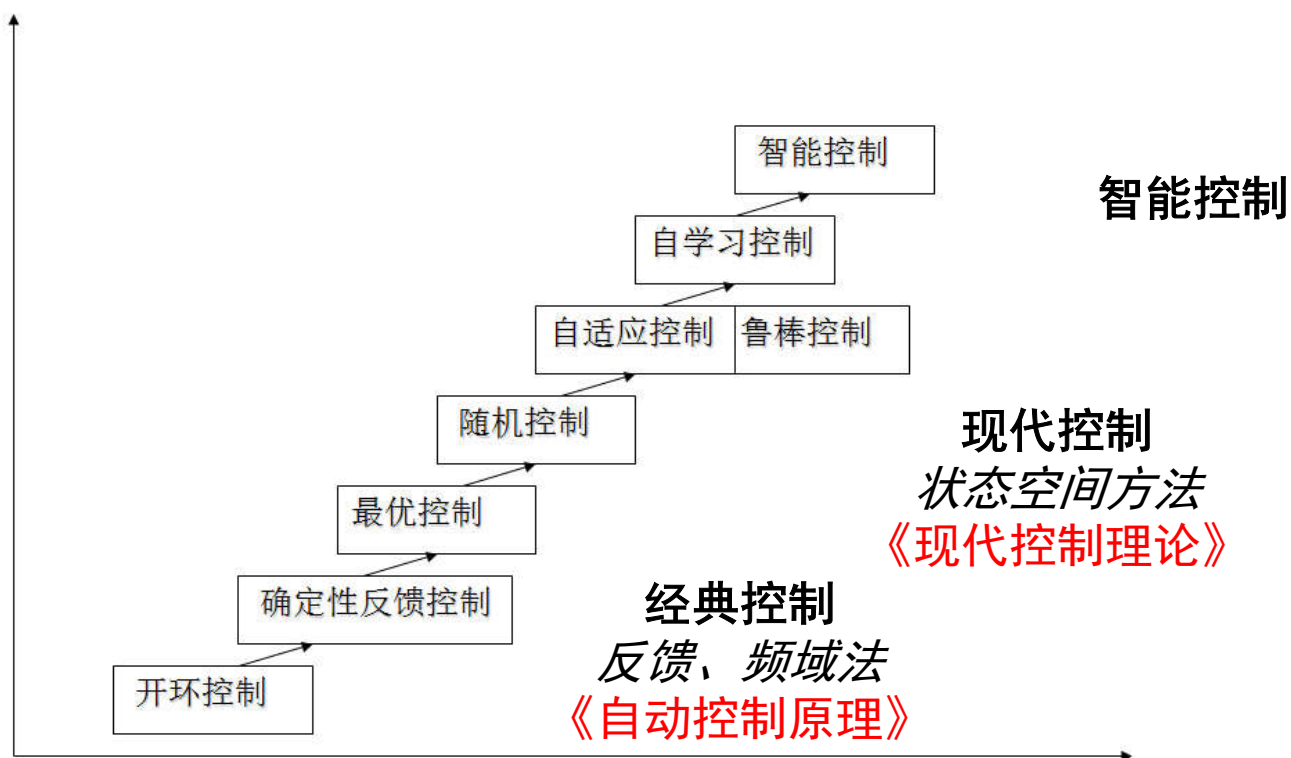
在生产实践中，复杂控制问题可通过熟练操作人员的**经验**和**控制理论**相结合去解决，由此，产生了智能控制。

智能控制将**控制理论**的方法和**人工智能**技术灵活地结合起来，其控制方法适应对象的**复杂性**和**不确定性**。

1.1 智能控制的发展过程



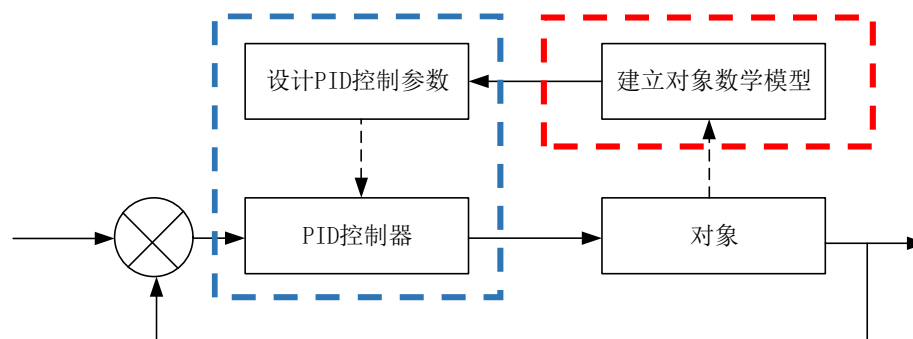
智能控制是自动控制发展的**最新阶段**，主要用于解决传统控制难以解决的复杂系统的控制问题。控制科学的发展过程如图所示：



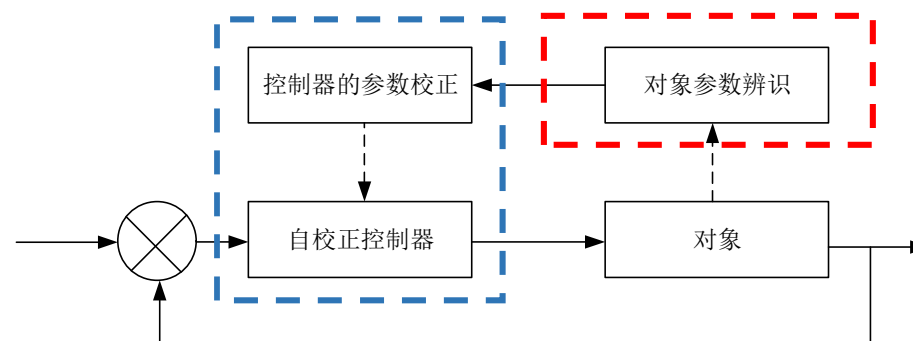
1.1 智能控制的发展过程



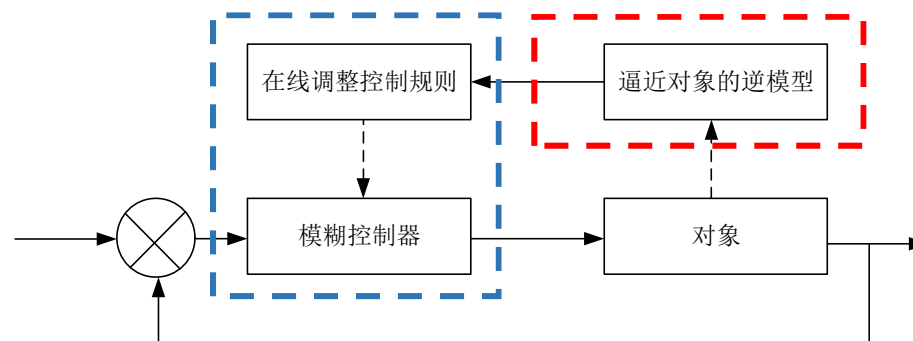
经典控制（PID控制）：



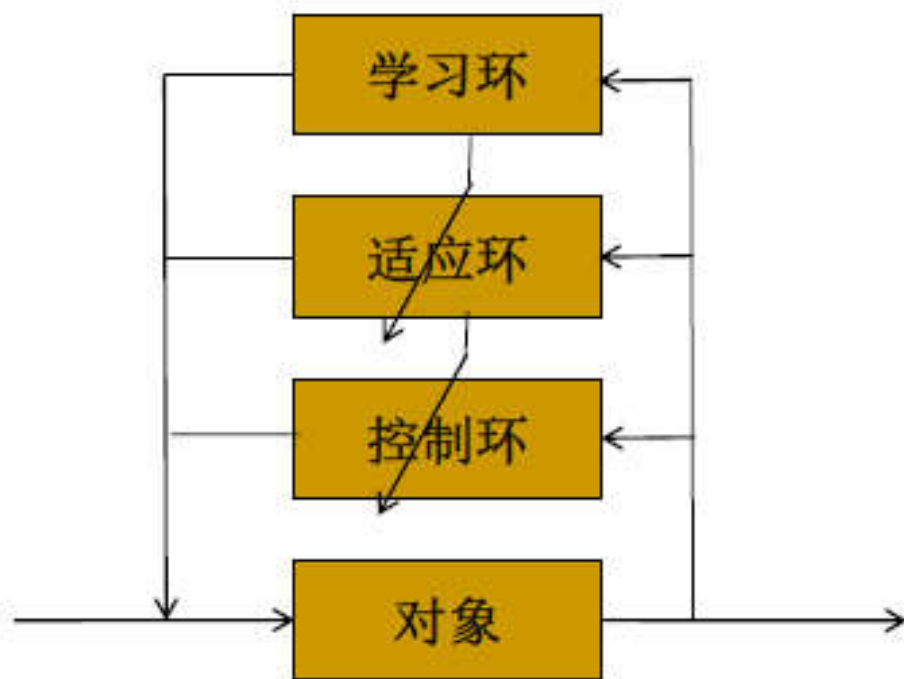
现代控制（自校正控制）：



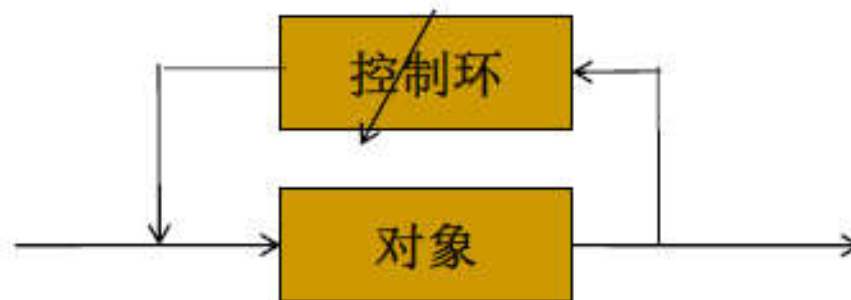
智能控制（模糊控制）：



1.1 智能控制的发展过程



智能控制



传统控制

1.1 智能控制的发展过程



智能控制的编年史



1.1 智能控制的发展过程



从二十世纪60年代起，由于空间技术、计算机技术及人工智能技术的发展，控制界学者在研究自组织、自学习控制的基础上，为了提高控制系统的自学习能力，开始注意将人工智能技术与方法应用于控制中。

1966年，J.M.Mendal首先提出将人工智能技术应用于飞船控制系统的设计；

1971年，**傅京逊首次提出智能控制这一概念**，并归纳了三种类型的智能控制系统：

1.1 智能控制的发展过程



- (1) **人**作为控制器的控制系统：人作为控制器的控制系统具有自学习、自适应、自组织的功能；
- (2) **人-机结合**作为控制器的控制系统：机器完成需要连续进行的并需快速执行的常规控制任务，人则完成任务分配、决策、监控任务；
- (3) **无人**参与的自主控制系统：为多层的智能控制系统，需要完成问题求解、规划、环境建模、传感器信息分析和低层的反馈控制任务。如自主机器人。

人参与程度

1.1 智能控制的发展过程



- 1985年8月，IEEE在美国纽约召开了第一届智能控制学术讨论会，会上集中讨论了智能控制原理和智能控制系统的结构。
- 这次会议之后不久，在IEEE控制系统学会内成立了IEEE智能控制专业委员会，并讨论了智能控制的定义和研究生课程教学大纲等。
- 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举行第一次国际智能控制大会，标志智能控制领域的形成。

1.1 智能控制的发展过程



智能控制的纪传史



1.1 智能控制的发展过程



The 1st
Important Person!

1.1 智能控制的发展过程



傅文孫

King-Sun Fu
(1930-1985)

- 浙江丽水人，1949年去台湾
- 1959-1960年为美国波音飞机公司研究工程师。
- 1961年始任教于普渡大学电机工程系，达23年。
- 1965年把AI启发式推理规则用于学习控制系统。
- 1971年，被选为IEEE Fellow。
- 1971年提出智能控制二元交集思想，后被公认为国际智能控制的先行者和奠基人。

1.1 智能控制的发展过程



- 1975年升任普渡大学EE高斯(Goss)杰出教授。其间到IBM公司、Beckley加州大学、IBM研究中心、MIT、Stanford大学从事研究和教学，创立了模式识别学科，为信息分析与信息传输建立基础。
- 1976年当选美国国家工程科学院院士。
- 1977年因其研究的模式识别、图像处理及其应用，获美国计算机学会杰出论文奖。
- 1981年获美国工程教育学会高级研究奖。
- 1982年获IEEE教育奖章。
- 1978年当选台湾“中央研究院”院士。1983-84年受聘北京大学、清华大学、复旦大学等校名誉教授。
- 培养指导博士75名，访问学者数十名。
- 出版专著4部，发表论文400多篇。

1.1 智能控制的发展过程



- 为句法模式识别学科创始人，曾任第一届国际模式识别大会总主席和国际模式识别联合会首任主席，被誉为国际“模式识别之父”。
- 1985年初担任普渡大学智能制造工程研究中心主任，是国际CIMS的先行者。
- IEEE Trans. PAMI (Pattern Analysis and Machine Intelligence) 首任主编及另7刊物主编或编委。

IEEE Transactions on Robotics King-Sun Fu Memorial Best Paper Award

About the Award

Description: To recognize the best paper published annually in the *IEEE Transactions on Robotics*

Established: 2004

Prize: \$1,000 and Certificate

Funding: Funded by the IEEE Robotics and Automation Society

Eligibility: Authors of papers published in the *IEEE Transactions on Robotics* during the calendar year of the award

Basis for Judging: Technical merit, originality, potential impact on the field, clarity of presentation, and practical significance for applications

Presentation: At the annual IEEE Conference on Robotics and Automation (ICRA) in the calendar year following publication of the paper

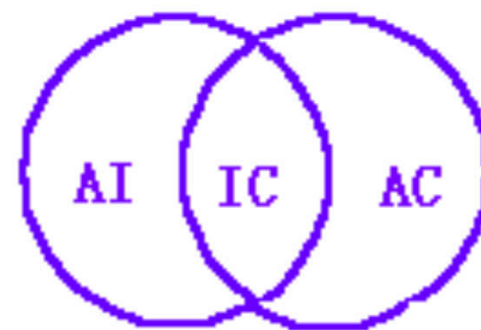


1.1 智能控制的发展过程

智能控制的概念（二元论）

智能控制是一门交叉学科，著名美籍华人傅京逊教授1971年首先提出智能控制是人工智能与自动控制的交叉，即二元论，即 $IC=AC \cap AI$

- ✓ IC——智能控制（Intelligent Control）
- ✓ AI——人工智能（Artificial Intelligence）
- ✓ AC——自动控制（Automatic Control）



1.1 智能控制的发展过程



The 2nd
Important Person!

1.1 智能控制的发展过程



乔治·萨里迪斯

(George N. Saridis, 1931年11月17日-2006年10月29日)



- 前美国普渡大学 (Purdue University) 和伦塞利尔工学院 (RPI) 教授。
- 1984年, 组织并**创立了IEEE机器人与自动化委员会**。
- 1985年, 作为会议主席, 于伦塞利尔工学院组织了首届IEEE智能控制研讨会, 这是**国际上第一个关于智能控制的会议**, 从此开创了延续至今的IEEE智能控制国际会议 (ISIC) 。

1.1 智能控制的发展过程



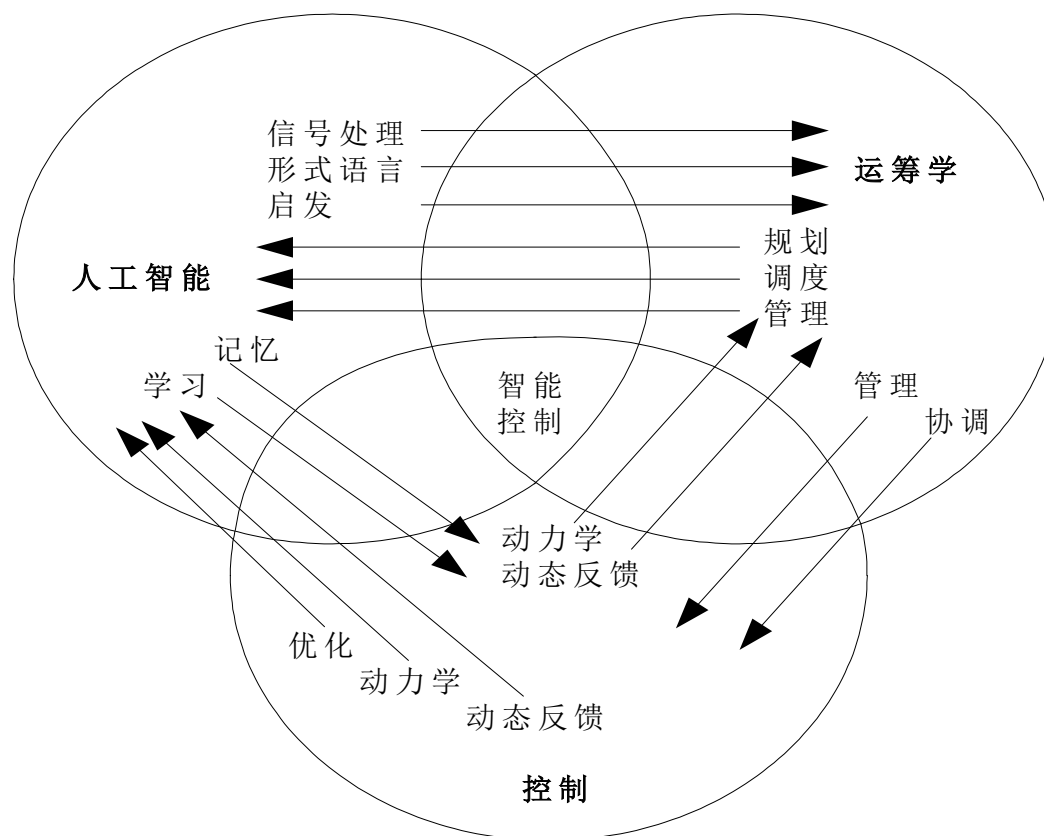
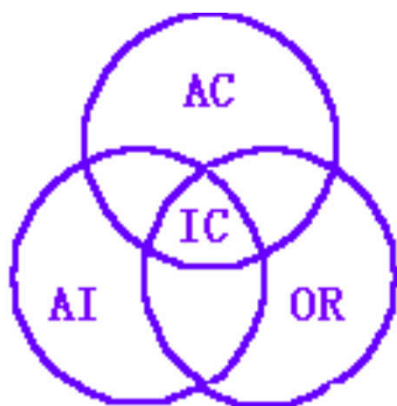
1977年在二元论基础上引入运筹学，提出了三元论的智能控制概念，即 $IC=AC \cap AI \cap OR$

IC——智能控制 (Intelligent Control)

AI——人工智能 (Artificial Intelligence)

AC——自动控制 (Automatic Control)

OR——运筹学 (Operational Research)



1.1 智能控制的发展过程



人工智能（AI）是一个用来**模拟人思维的知识处理**系统，具有记忆、学习、信息处理、形式语言、启发推理等功能。

自动控制（AC）描述系统的**动力学特性**，是一种动态反馈。

运筹学（OR）是一种**定量优化**方法，如线性规划、网络规划、调度、管理、优化决策和多目标优化方法等。

1.1 智能控制的发展过程



三元论除了“智能”与“控制”外还强调了更高层次控制中调度、规划和管理的作用，为递阶智能控制提供了理论依据。

所谓智能控制，即设计一个控制器（或系统），使之具有学习、抽象、推理、决策等功能，并能根据环境（包括被控对象或被控过程）信息的变化作出适应性反应，从而实现由人来完成的任务。

1.1 智能控制的发展过程



The 3rd
Important Person!

1.1 智能控制的发展过程



蔡自兴，1962年7月毕业于西安交通大学机电工程系工业电气自动化专业。已从事自动控制、计算机科学技术等教学和科研工作50年。联合国专家、国际导航与运动控制科学院院士、纽约科学院院士、首届全国高校国家级教学名师。

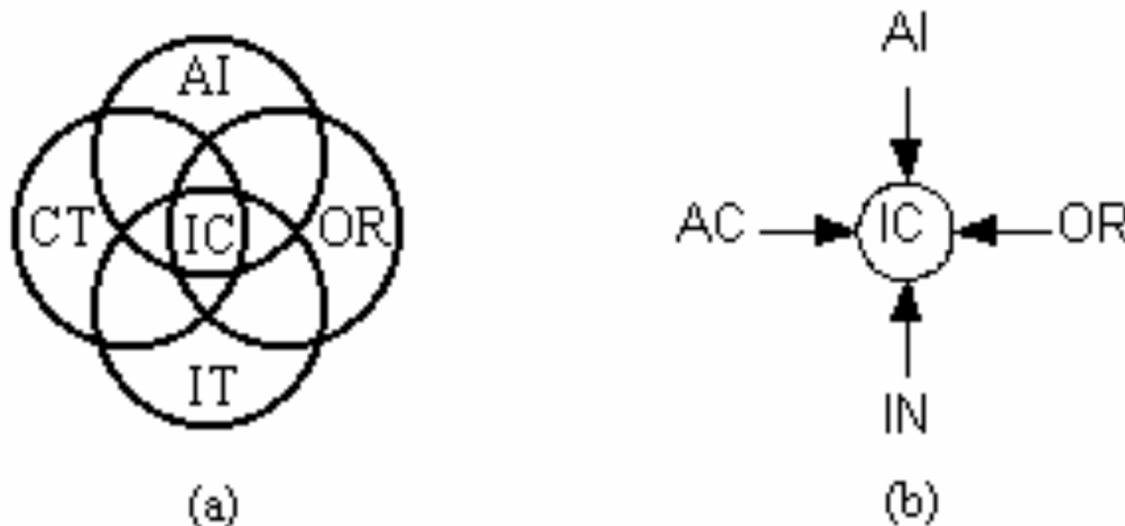
我国智能系统、人工智能、智能控制、智能机器人专家，被誉为“**中国智能控制学科的奠基者**”和“**中国人工智能教育第一人**”。

- ✓ 2009年荣获徐特立教育奖。
- ✓ 2014年荣获**吴文俊人工智能科学技术奖成就奖**。
- ✓ 2016年获得IEEE Fellow。
- ✓ 2019年晋升为IEEE Life Fellow。

1.1 智能控制的发展过程



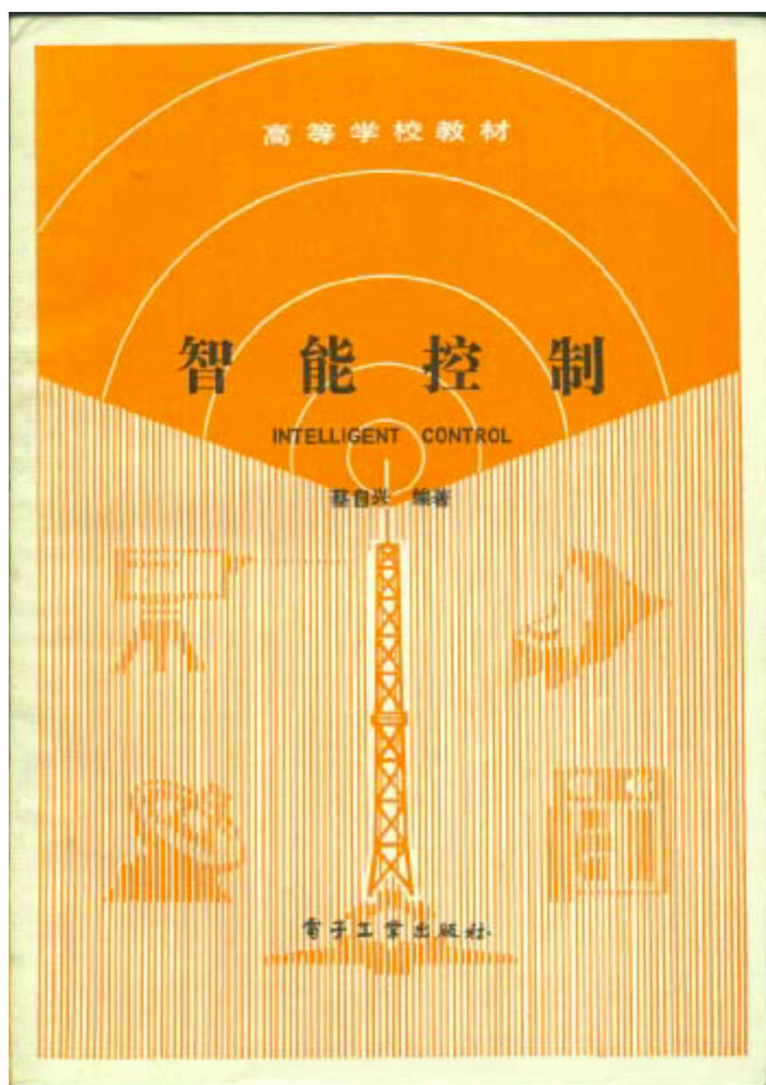
蔡自兴1986年提出智能控制四元结构论，把智能控制看做自动控制、人工智能、**信息论**和运筹学四个学科的交集。（收入《中国大百科全书》等）



$$\mathbf{IC} = \mathbf{AI} \cap \mathbf{CT} \cap \mathbf{IT} \cap \mathbf{OR}$$

其中, **IT**为信息论

1.1 智能控制的发展过程



智能控制
国内首部智能控制
系统著作，
全国统编教材

电子工业出版社
(1990)

1.1 智能控制的发展过程



1.2 智能控制的几个重要分支



(一) 模糊控制

传统控制方法均是建立在被控对象精确数学模型基础上的，然而，随着系统复杂程度的提高，将难以建立系统的精确数学模型。

在工程实践中，人们发现，一个复杂的控制系统可由一个操作人员凭着丰富的实践经验得到满意的控制效果。这说明，如果通过模拟人脑的思维方法设计控制器，可实现复杂系统的控制，由此产生了模糊控制。

1.2 智能控制的几个重要分支



- 1965年，美国加州大学伯克利分校自动控制系L.A.Zadeh提出模糊集合理论，奠定了模糊控制的基础；
- 1974年，伦敦大学的 E. H. Mamdani 博士利用模糊逻辑，开发了世界上第一台模糊控制的蒸汽机，从而开创了模糊控制的历史；
- 1983年，日本富士电机开创了模糊控制在日本的第一项应用——水净化处理，之后，富士电机致力于模糊逻辑元件的开发与研究，并于1987年在仙台地铁线上采用了模糊控制技术，1989年将模糊控制消费品推向高潮，使日本成为模糊控制技术的主导国家。



1.2 智能控制的几个重要分支



模糊控制的发展可分为三个阶段：

（1）1965年—1974年：模糊控制发展的第一阶段，即模糊数学发展和形成阶段；

（2）1974年—1979年：模糊控制发展的第二阶段，产生了简单的模糊控制器；

（3）1979年—现在：模糊控制发展的第三阶段，即高性能模糊控制阶段。

1.2 智能控制的几个重要分支



(二) 神经网络控制

神经网络的研究已经有几十年的历史。

- ✓ 1943年，McCulloch和Pitts提出了神经元数学模型；
- ✓ 1950年-1980年，为神经网络的形成期，有少量成果。如：
 - 1975年，Albus提出了人脑记忆模型CMAC网络。
 - 1976年，Grossberg提出了用于无导师指导下模式分类的自组织网络；

1.2 智能控制的几个重要分支



- ✓ 1980年以后，为神经网络的发展期。
- ✓ 1982年，Hopfield提出了**Hopfield网络**，解决了回归网络的学习问题。
- ✓ 1986年，美国的PDP研究小组提出了**BP网络**，实现了有导师指导下的网络学习，为神经网络的应用开辟了广阔的发展前景。

将神经网络引入控制领域就形成了神经网络控制。

1.2 智能控制的几个重要分支



结论：

神经网络控制是从机理上对人脑生理系统进行简单结构模拟的一种新兴智能控制方法。神经网络具有**并行机制**、**模式识别**、**记忆和自学习能力**的特点，它能充分**逼近任意复杂的非线性系统**，能够**学习与适应不确定系统的动态特性**，有很强的**鲁棒性**和**容错性**等，因此，神经网络控制在控制领域有广泛的应用。

1.2 智能控制的几个重要分支



(三) 智能算法

智能算法是人工智能的一个重要分支，是基于人工智能技术的搜索算法，有代表性的有遗传算法、粒子群算法、差分进化算法、蚁群算法、免疫进化算法等。

遗传算法由美国的J. H. Holland教授在1975年提出，80年代中期开始逐步成熟。从1985年起，国际上开始举行遗传算法国际会议。目前遗传算法已经被广泛应用于许多实际问题，成为用来解决高度复杂问题的新思路和新方法。遗传算法可用于模糊控制规则的优化及神经网络参数及权值的学习，在智能控制领域有广泛的应用。

1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



(一) 智能控制的特点

(1) 学习功能：智能控制器能通过从外界环境所获得的信息进行学习，不断积累知识，使系统的控制性能得到改善；

(2) 适应功能：智能控制器具有从输入到输出的映射关系，可实现不依赖于模型的自适应控制，当系统某一部分出现故障时，也能进行控制；

(3) 自组织功能：智能控制器对复杂的分布式信息具有自组织和协调的功能，当出现多目标冲突时，它可以在任务要求的范围内自行决策，主动采取行动。

(4) 优化能力：智能控制能够通过不断优化控制参数和寻找控制器的最佳结构形式，获得整体最优的控制性能；

1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



(5) 容错性：智能控制器对于各类故障具有自我诊断、屏蔽和自我恢复的功能；

(6) 鲁棒性：智能控制器的性能应对环境干扰和不确定因素不敏感；

(7) 实时性：智能控制器具有相当的在线实时响应能力；

(8) 人-机协作：智能控制具有友好的人机界面。

1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



(二) 智能控制的研究工具

(1) 符号推理与数值计算的结合

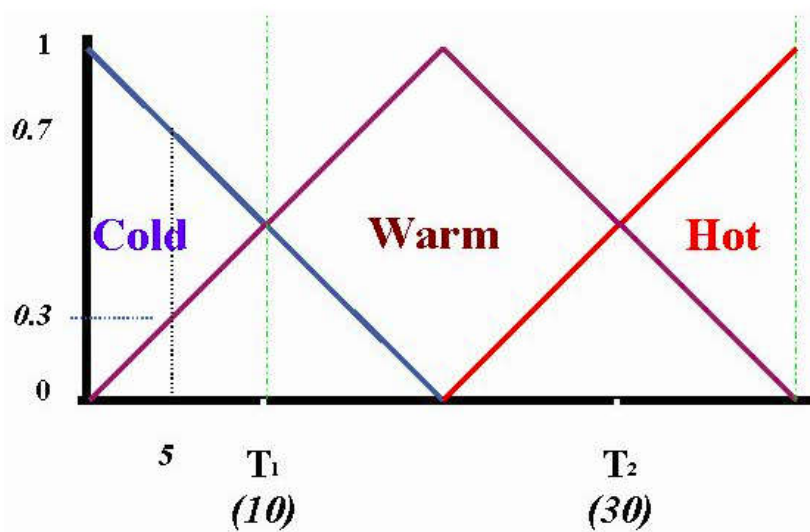
例如专家控制，它的上层是专家系统，采用人工智能中的符号推理方法；下层是传统意义下的控制系统，采用数值计算方法。

1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



(2) 模糊集理论

模糊集理论是模糊控制的基础，其**核心是采用模糊规则进行逻辑推理**，其逻辑取值可在0与1之间连续变化，其处理的方法是基于数值的而不是基于符号的。

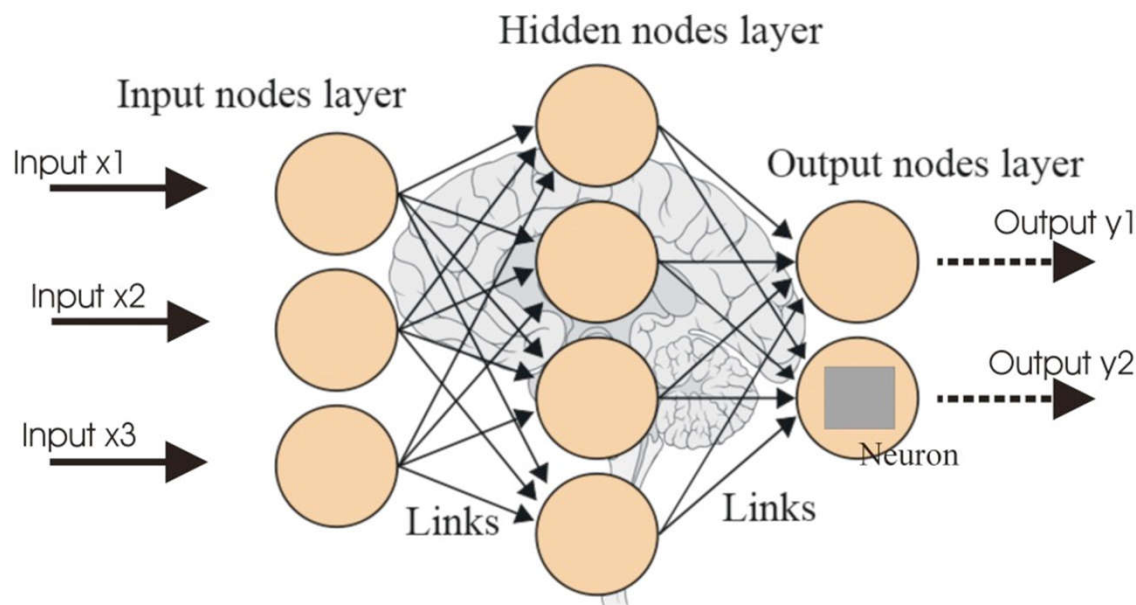


1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



(3) 神经网络理论

神经网络通过许多简单的关系来实现复杂的函数，其本质是一个**非线性动力学系统**，但它不依赖数学模型，是一种介于逻辑推理和数值计算之间的工具和方法。

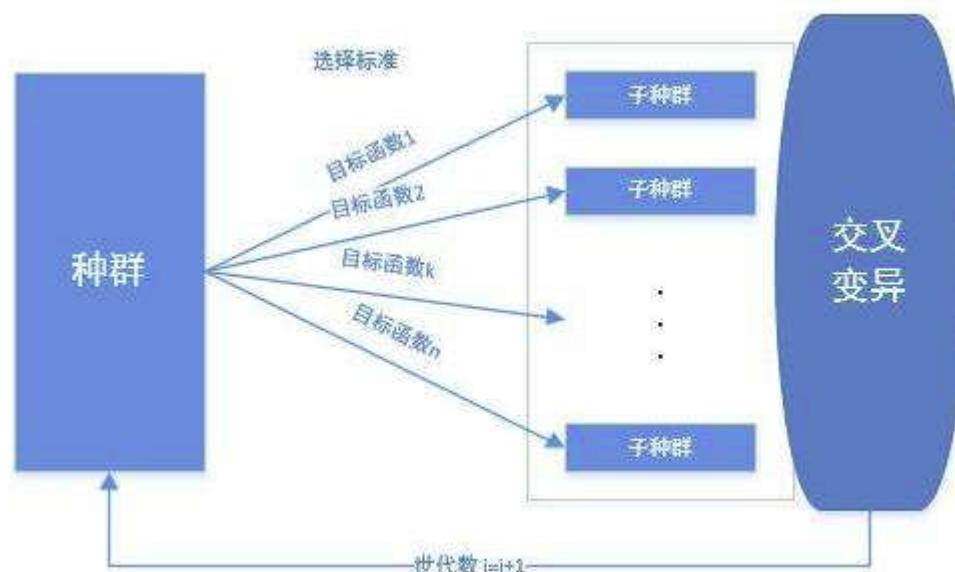


1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



(4) 智能优化算法

智能计算也称为“软计算”，是人们受自然界或生物界规律的启发，根据自然界或生物界的原理，模仿其规律而设计的求解问题的算法。智能优化算法主要包括遗传算法、蚁群算法、粒子群算法、差分进化算法等，是解决控制系统优化问题的新方法。



1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



(5) 离散事件与连续时间系统的结合

主要用于计算机集成制造系统（CIMS）和智能机器人的智能控制。

以CIMS为例，上层任务的分配和调度、零件的加工和传输等可用离散事件系统理论进行分析和设计；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方法。

1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



(三) 智能控制的应用

作为智能控制发展的高级阶段，智能控制主要解决那些用传统控制方法难以解决的**复杂系统**的控制问题，其中包括**智能机器人控制、计算机集成制造系统（CIMS）、工业过程控制、航空航天控制、社会经济管理系统、交通运输系统、环保及能源系统等。**

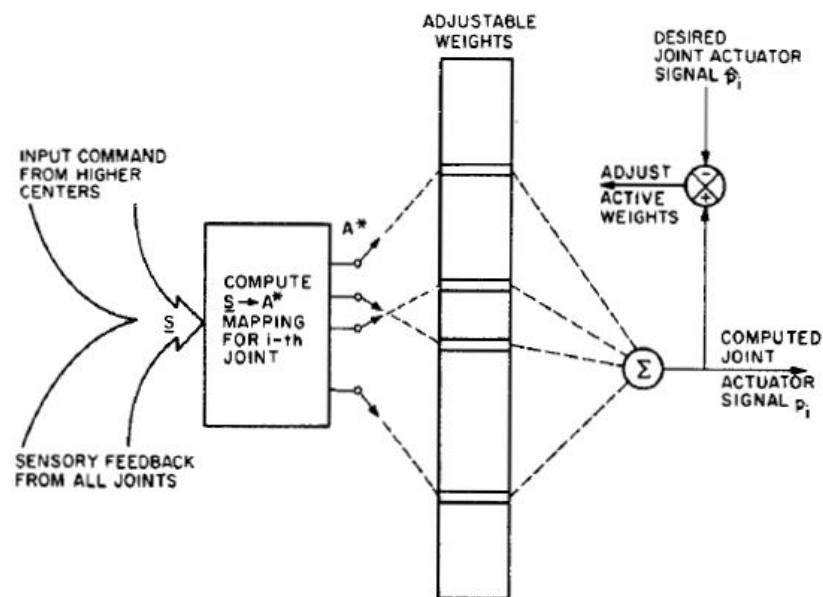
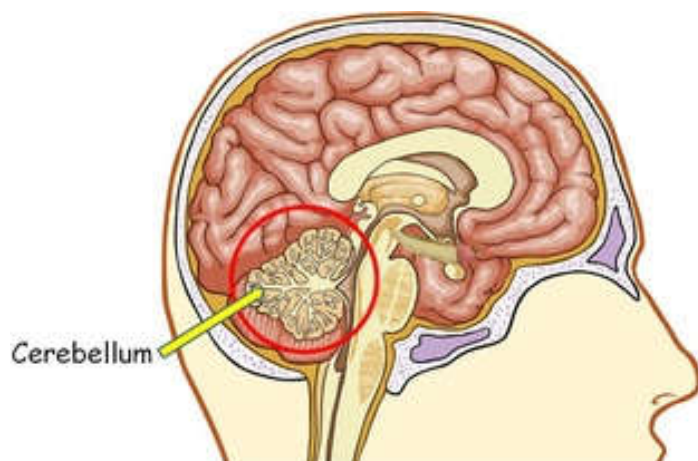
下面以智能控制在运动控制和过程控制中的应用为例进行说明。

1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



(1) 在机器人控制中的应用

智能机器人是目前机器人研究中的热门课题。J.S.Albus于1975年提出小脑模型关节控制器（Cerebellar Model Articulation Controller，简称CMAC），它是仿照小脑如何控制肢体运动的原理而建立的**神经网络模型**，采用CMAC，可实现机器人的关节控制，这是神经网络在机器人控制的一个典型应用。



1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



E. H. Mamdani于20世纪80年代初首次将模糊控制应用于一台实际机器人的操作臂控制。



目前工业上用的90%以上的机器人都不具有智能。随着机器人技术的迅速发展，需要各种具有不同程度智能的机器人。



1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



(2) 在过程控制中的应用

过程控制是指石油、化工、冶金、轻工、纺织、制药、建材等**工业生产过程**的自动控制，它是自动化技术的一个极其重要的方面。智能控制在过程控制上有着广泛的应用：

- ✓ 在石油化工方面，1994年美国的Gensym公司和Neuralware公司联合将**神经网络**用于炼油厂的非线性工艺过程。

1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



- ✓ 在冶金方面，日本的新日铁公司于1990年将**专家控制系统**应用于轧钢生产过程。
- ✓ 在化工方面，日本的三菱化学合成公司研制出用于乙烯工程**模糊控制**系统。

将智能控制应用于过程控制领域，是过程控制发展的方向。

1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



(3) 在家电中的应用



日本

美国直邮 松下 (Panasonic) 微电脑控制/模糊逻辑5杯电饭煲一键烹饪

乐享全球 40元神券限时领 领券部分满299减100元 [更多优惠点击查看](#)

价 格 **¥ 718.00**

进口税 商家承担 [税费信息 ?](#)

优惠券 [满289减40](#) [满189减20](#) [满99减10](#) [更多>>](#)

配送 美国 至 北京朝阳区三环以内 [有货](#) [配送时间 ?](#)

白条分期

不分期	¥ 242.93起×3期	¥ 123.24起×6期
¥ 63.46起×12期	¥ 33.43起×24期	?

1 [+](#) [-](#) [加入购物车](#)

1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



思考与练习



思考

- 1 简述智能控制的概念。
- 2 智能控制由哪几部分组成？各自的特点是什么？
- 3 比较智能控制和传统控制的特点？
- 4 智能控制有那些应用领域？试举出一个应用实例。