

智能控制理论

(Intelligent Control Theories)

第一章 绪论

主讲教师：段朝霞（能电院自动化系）

办公室：勤学楼1212

邮 箱：duanzx1989@163.com



教材：

《智能控制》（第四版）；刘金琨主编；电子工业出版社。

参考书籍：

《神经·模糊预测控制及其MATLAB实现》（第三版）；李国勇杨丽娟编著；电子工业出版社。

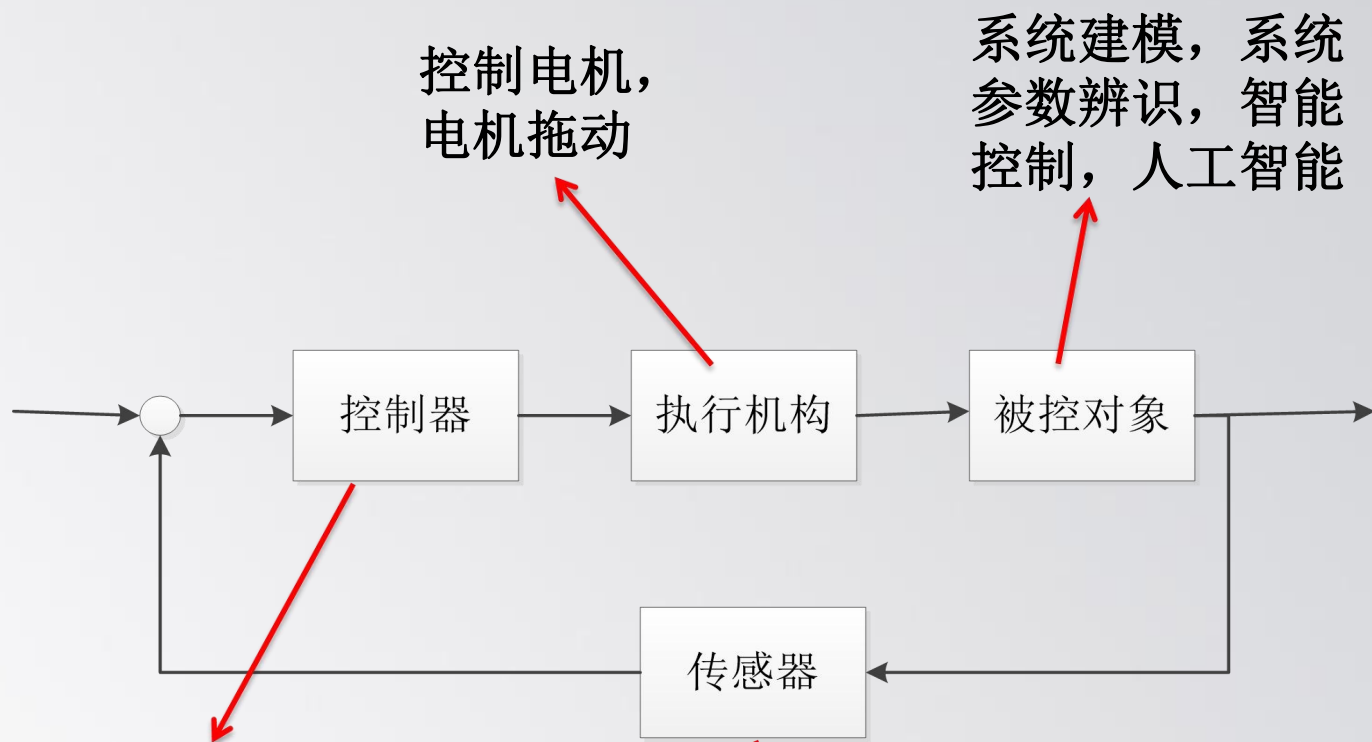
《智能控制理论及应用》；王耀南、孙炜等编著；机械工业出版社。

《智能控制理论和方法》；李人厚；西安电子科技大学出版社。

《神经网络控制》；王永骥，涂健；机械工业出版社。

《模糊控制原理与应用》；诸静；机械工业出版社。

Fuzzy logic and neural network handbook, C.H. Chen, New York : McGraw-Hill, 1996.



硬件：单片机，微机原理，**PLC，FPGA**

软件算法部分：自动控制原理，现代控制理论，智能控制理论，优化控制理论，非线性控制理论

传感器技术，自动检测技术与仪表，电路，模拟电子技术，数字电子技术

学习智能控制的意义

- 《智能控制》在自动化课程体系中的位置

《智能控制》是一门控制理论课程，研究如何运用人工智能的方法来构造控制系统和设计控制器。与《自动控制原理》和《现代控制理论》一起构成了自动控制课程体系的理论基础。

- 《智能控制》在控制理论中的位置

《智能控制》是目前控制理论的最高级形式，代表了控制理论的发展趋势，能有效地处理复杂的控制问题。其相关技术可以推广应用于控制之外的领域：金融、管理、土木、设计等等。

课程目标:

回答以下问题:

1. 智能控制的历史、现状和未来?
2. 智能控制的主要理论分支及其技术?
3. 智能控制理论及技术的具体实现?
4. 智能控制理论及技术的应用领域?

学习目标:

- 掌握智能控制的基本概念、基本理论、基本技术。
- 灵活运用各种智能控制算法解决实际工程问题。

学习方法:

- 理解各种智能算法基本概念、基本技术和基本方法;
- 重点掌握各种智能控制算法的基本思想、设计步骤和程序实现方法;
- 理论学习+算法实现; 前沿主义+实用主义, 防止眼高手低。

课程要求



- 自主学习，知识获取，独立思考
- 查阅文献，参加研讨
- 仿真研究报告

成绩 = 出勤(20%) + 平时作业(30%) + 研究报告(50%)

研究报告



⑩ 内容：

- ① 重复已有的“智能控制的案例”（论文，书籍）的结果
- ② 提出老问题的新的解决方案
- ③ 提出自己发现新问题的解决方案

⑩ 要求：

- ① 研究问题的来源（参考文献）
- ② 采用的算法思想，解决方案，仿真试验结果与分析总结
- ③ 禁止综述，杜绝抄袭，要有实质性的仿真试验结果，有一定的深度，算法语言不限

⑩ 提交内容

word 文本文档+原始程序+text说明

发送压缩文件：姓名+班级+学号.zip

数据-信息-知识-智能



- 数据 (Data) : Individual measurements from sensors
- 信息 (Information) : Relationship among the correlated data
- 知识 (Knowledge) : Connection among the structured information
- 智能 (Intelligence) : Capability of utilizing knowledge

图灵测试

- 如果一台机器能够与人类展开对话（通过电传设备），而不能被辨别出来机器身份，那么称这台机器具有智能。

《她》讲述了作家西奥多在结束了一段令他心碎的爱情长跑之后，他爱上了电脑操作系统里的女声，这个叫“萨曼莎”的姑娘不仅有着把略微沙哑的性感嗓音，并且风趣幽默、善解人意，让孤独的男主泥足深陷。该片获得2014年第86届奥斯卡最佳原创剧本奖。



智能机器：

1964年 能证明应用题的STUDENT

1966年 可以实现简单人机对话的机器 ELIZA （下跳棋）

1986年 能与人类下象棋的智能机器

1980年 卡耐基-梅隆大学为DEC公司制造出了专家系统XCON，
是一个用于为VAX计算机系统制定硬件配置方案的商用系统，
创造了巨大的经济效益。

1997年 IBM “深蓝” 和象棋冠军卡斯帕罗夫的象棋大赛，
最终结果是机器人获胜

2015年 人工智能图像识别错误率 3.5% （2011年 26%）

2016年 Alpha Go 打败人类围棋冠军



引入

- 智能控制是一门新兴的学科，随着数字计算机和人工智能的发展而发展起来的。它的发展得益于许多学科：人工智能、认知科学、现代自适应控制、最优控制、神经网络、模糊逻辑等。
 - 经典控制理论
 - 现代控制理论
- 基于模型的控制方法

智能
控制

- 1.不确定性的模型
- 2.高度非线性
- 3.复杂的任务要求



一种具有某些人的能力的控制系统，在模型的基础上使控制系统具有人参与过程控制的某些能力，又克服了人的弱点，这就是智能控制系统。

引入

什么是人的智能？

智能是人脑的属性和产物。智能具有的主要特征：

- 具有感知能力，通过视觉、听觉、触觉、味觉和嗅觉感知外部世界。
- 具有记忆与思维能力。
- 具有学习能力及自适应能力。
- 具有行为能力。

智能理论的观点

知识阈值理论
思维理论
进化理论



引入

智能控制的定义

1、定性地说，智能控制系统应具有仿人的功能（学习、推理），能适应不断变化的环境，能处理多种信息以减少不确定性，能以安全可靠的方式进行规划，产生和**执行控制**的动作，获取系统整体上最优或次优的性能指标。

2、从系统一般行为特性出发，智能控制是有知识的“行为舵手”，它把**知识和反馈**结合起来，形成感知交互式以目标为导向的控制系统。该系统可以进行规划，产生有效的、有目的的行为，在不确定的环境中，达到既定的目标。

3、从认知过程看，智能控制是一种计算上有效的过程，它在非完整的指标下，通过最基本的操作，即归纳、集注和组合搜索，把表达不完善、不确定的复杂系统引向规定的目标。

第一章 绪论

- 智能控制的产生和发展
- 智能控制的定义和特点
- 智能控制的主要分支
- 智能控制的应用
- 智能控制的研究方向和趋势

第一章 绪 论



1.1 智能控制的产生和发展

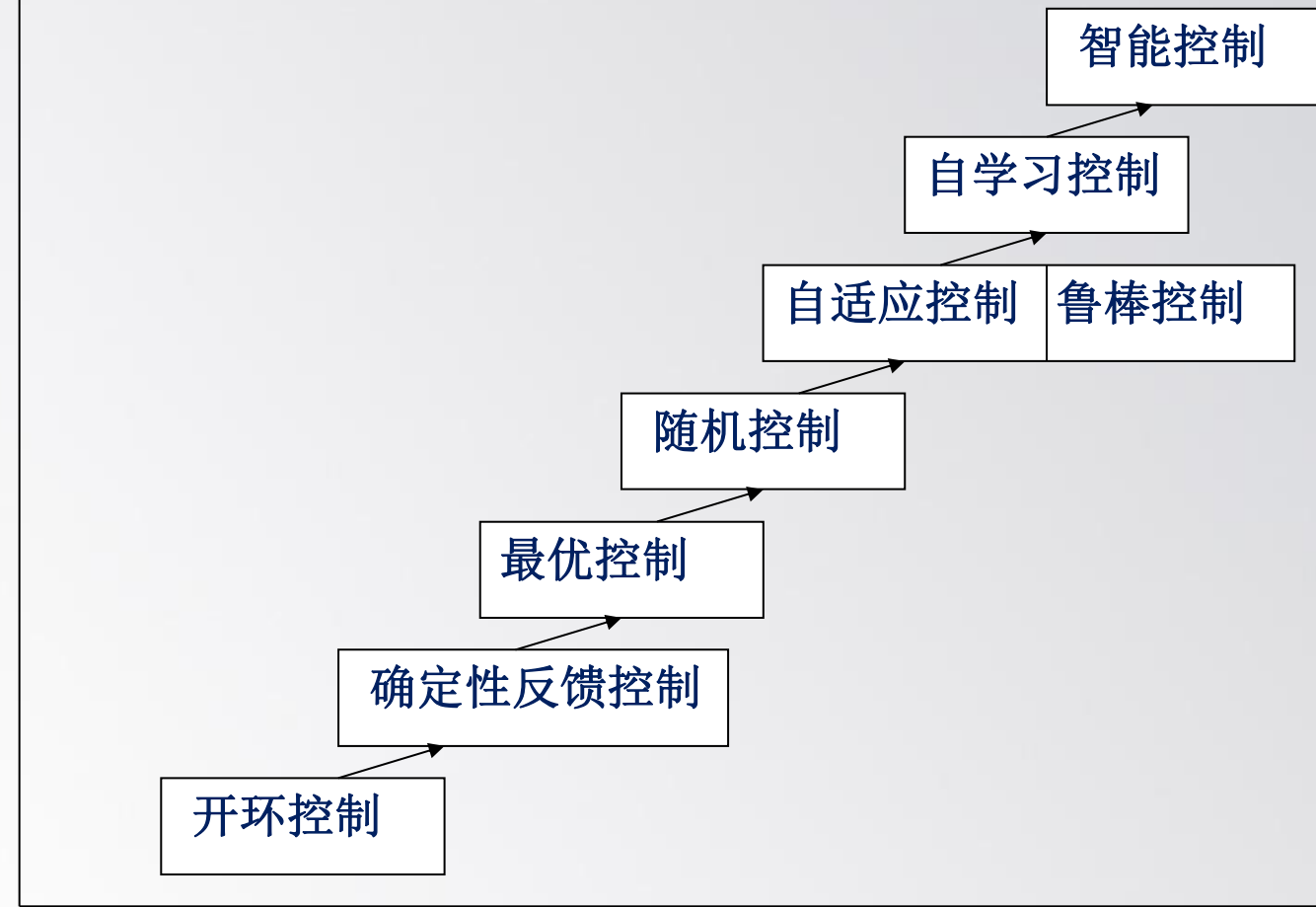
1.2 智能控制的定义和特点

1.3 智能控制的主要分支

1.4 智能控制的应用

1.5 智能控制的研究方向和趋势

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。





1.1 智能控制的产生和发展

20世纪20年代

经典控制理论

对由微分方程和差分方程描述的动力学系统进行控制的理论和方法，研究的是单变量常系数的线性系统，只适用于SISO系统。

20世纪60年代

现代控制理论

线性系统理论、最优控制理论、系统辨识、随机控制理论、自适应控制理论和鲁棒控制理论等。

1.1 智能控制的产生和发展



经典控制理论

VS

现代控制理论

- 控制对象结构 (SISO→MIMO)
- 数学模型 (传递函数→状态模型)
- 研究方法 (积分变换→矩阵理论、几何方法；频率方法 → 状态空间)
- 建模手段 (机理建模→ 统计建模 (参数估计、系统辨识理论))

1.1 智能控制的产生和发展

大型工业生产过程、计算机集成制造系统（CIMS）、计算机网络、机器人系统和飞行空间的各类设施等大型复杂系统具有多种形式的复杂性。

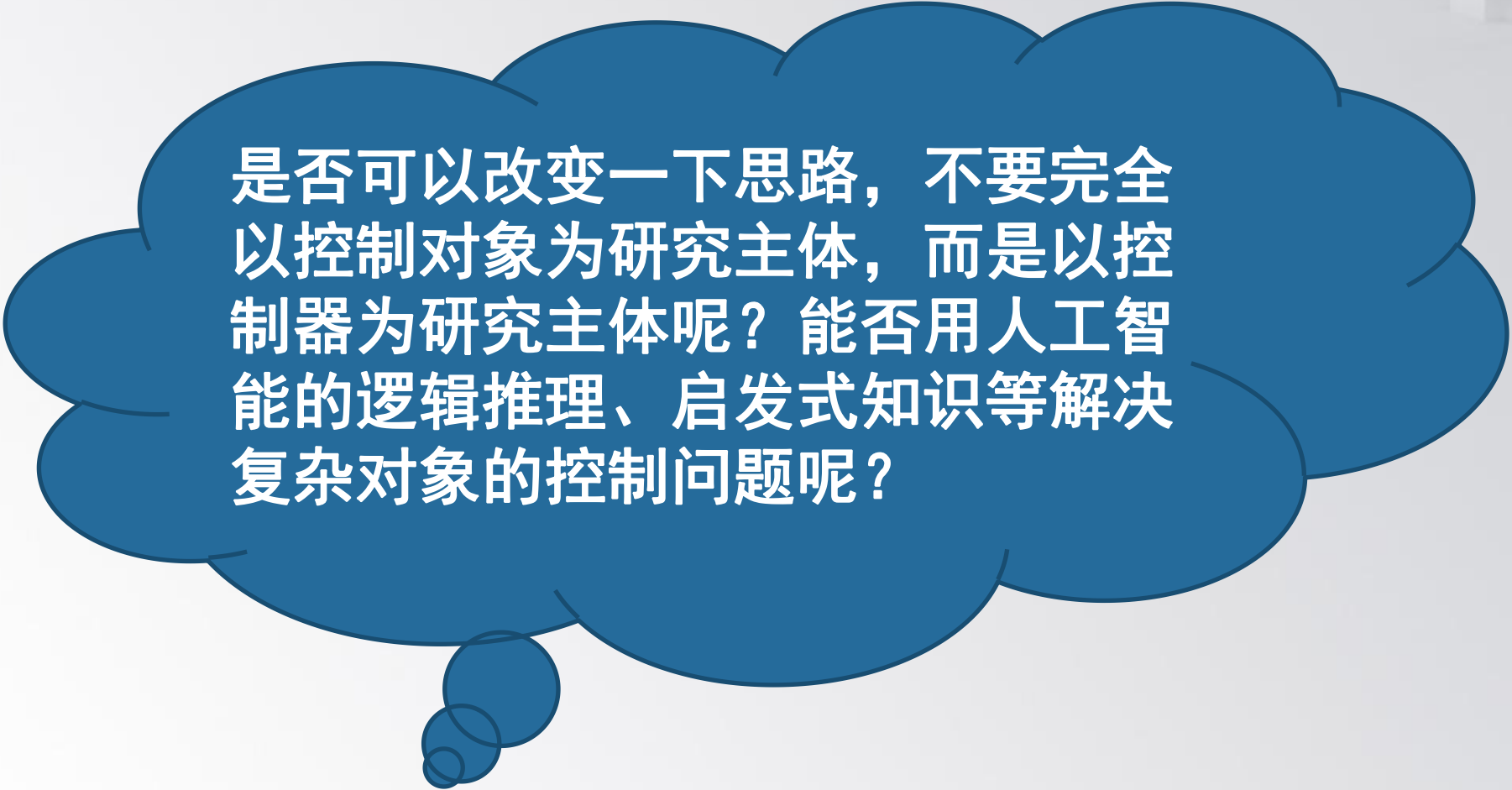
- **整体结构：**非线性，不确定性，无穷维，分布式，多层次等
- **被处理的信息：**模糊性，不确定性，随机性，不完全性，图像及符号信息的混合等
- **计算：**数学运算与逻辑运算的混合



传统控制面临的挑战:

- 实际系统由于存在复杂性、非线性、时变性、不确定性、不完全性等因素，一般无法获得精确的数学模型。
- 应用传统控制理论进行控制必须提出并遵循一些严苛的线性化的假设，而这些假设在应用中往往与实际情况不吻合。
- 传统的控制方法在解决大范围变工况、异常工况等问题方面往往不尽人意。
- 环境和被控对象的未知和不确定性，导致无法建立模型。
- 传统控制往往不能满足某些系统的性能要求。

1.1 智能控制的产生和发展



是否可以改变一下思路，不要完全以控制对象为研究主体，而是以控制器为研究主体呢？能否用人工智能的逻辑推理、启发式知识等解决复杂对象的控制问题呢？

1.1 智能控制的产生和发展



设计方法越来越数学化

依赖理想化的精确的对象数学模型

实际生产过程中有许多需要靠操作人员的知识和逻辑思维来解决的问题，现代控制理论显得无能为力。

控制算法较为理想化（高维、强耦合、时变、非线性及分布参数等系统、缺乏实用、简便及有效的分析和综合方法）

如何有效地将熟练的操作工、技术人员或专家的经验知识和控制理论结合起来去解决复杂系统的控制问题就是智能控制原理研究的目标。

人工智能技术可以用计算机实现原来只有人才能做的具有智能的工作，如符号、语言和知识的表达，状态特征的识别，定性和定量、精确与模糊的信息处理，分析推理，判断决策等。

1.1 智能控制的产生和发展

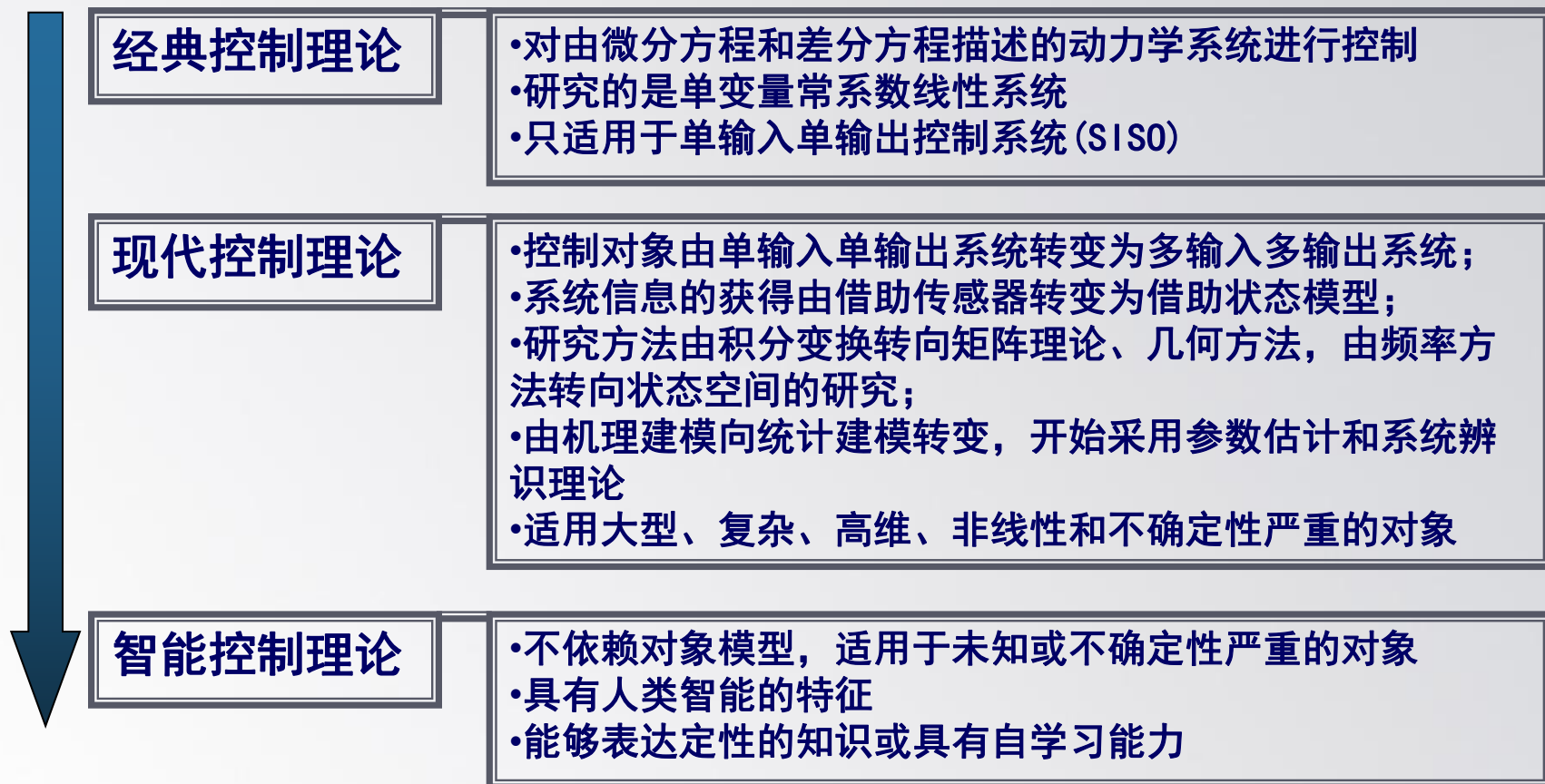


智能控制将控制理论的方法和人工智能技术灵活地结合起来，其控制方法适应对象的复杂性和不确定性。

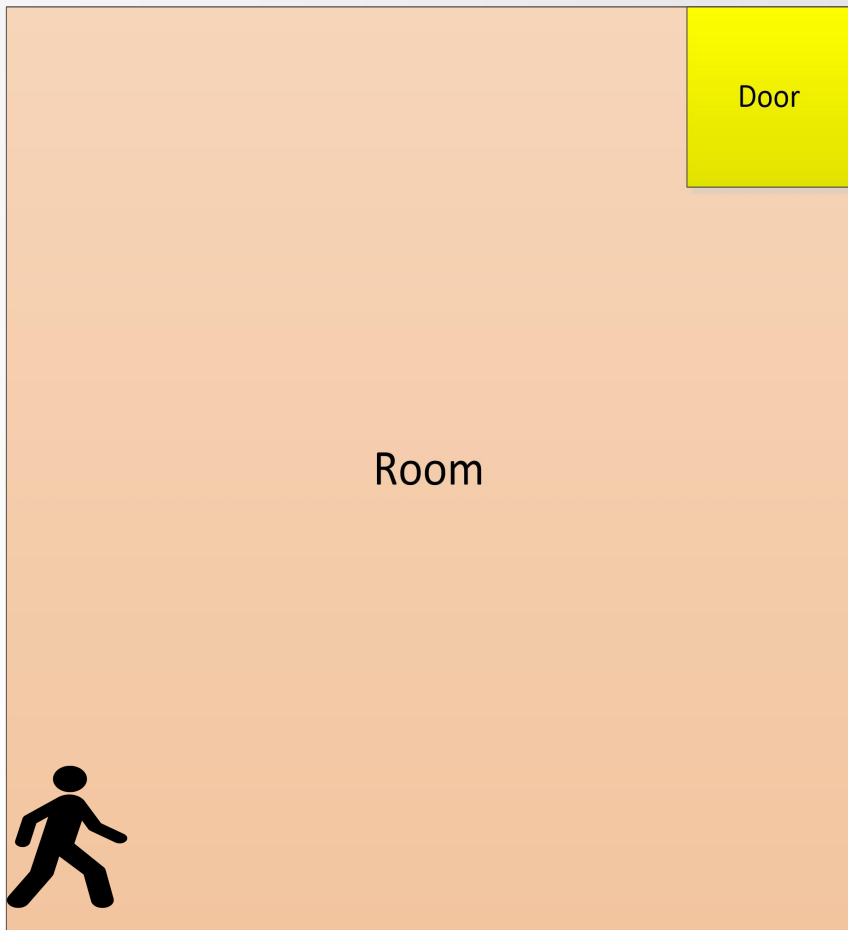
智能控制是模仿人类智能所构成的一类控制策略，它可以处理各种复杂系统，其求解过程主要依靠搜索，自学习，模拟进化等。



1.1 智能控制的产生和发展

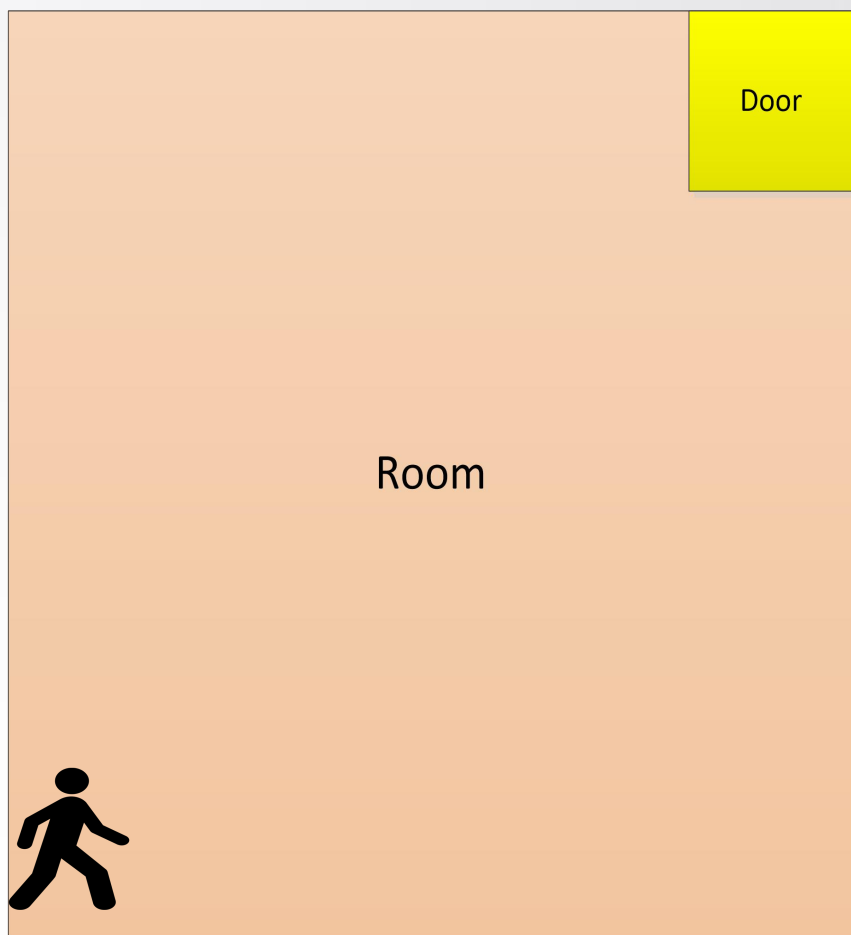


智能控制与传统控制的区别



- 传统方法：
以人所在位置为原点 $(0, 0)$ ，建立坐标系，求得门的坐标 (x, y) ，两点连线，即为所求路径

环境未知:

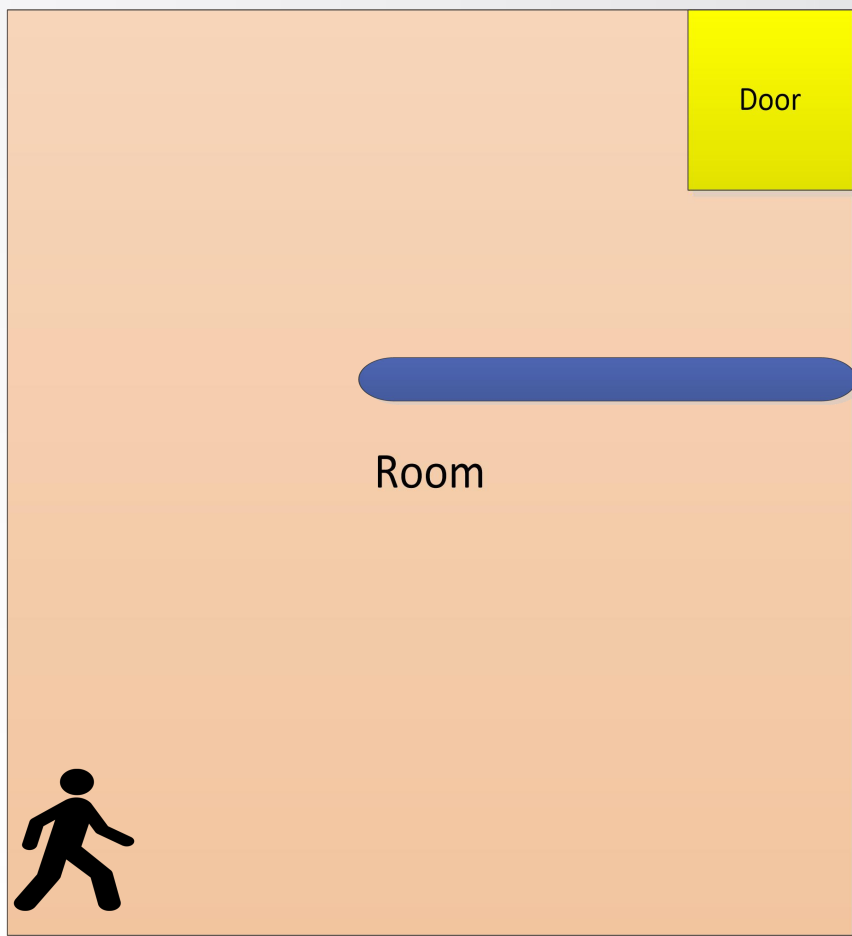


智能搜索:

- (1) 向前走
- (2) 遇到墙向左转



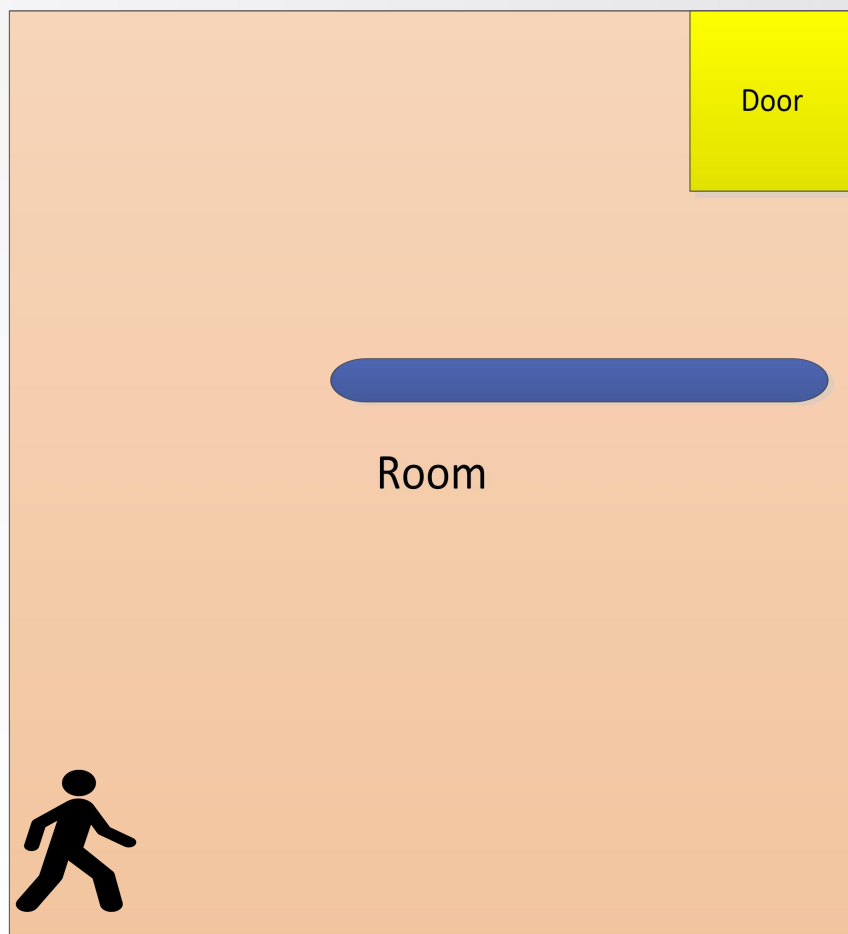
房间内有障碍物：



智能搜索：

- (1) 向前走
- (2) 遇到墙向左转

房间内有障碍物：



智能搜索：

- (1) 向前走
- (2) 遇到墙向左转
- (3) 回到原点向右转

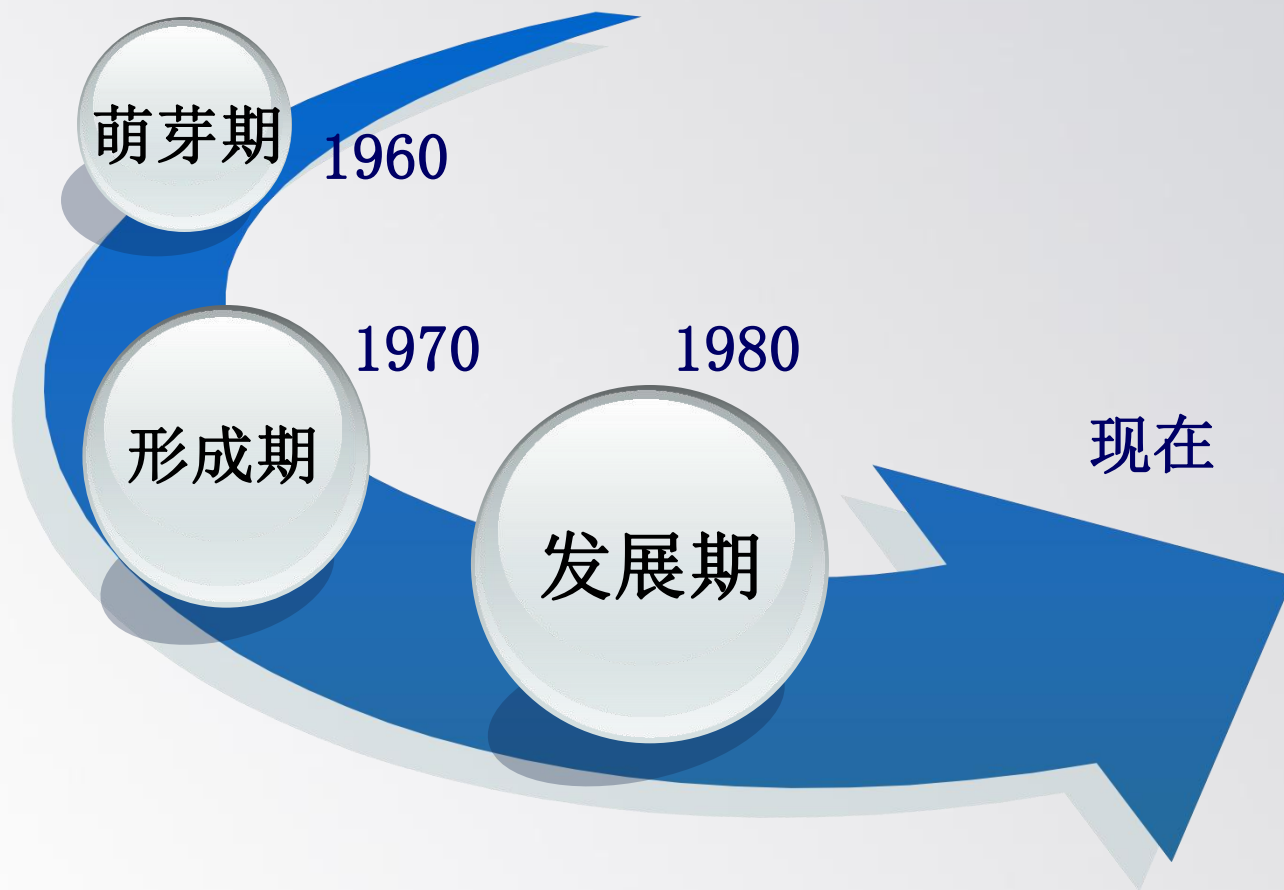


智能控制与传统控制的区别：

- **应用对象**的不同：SISO; SISO和MIMO; 各种复杂系统。
- **数学方法**不同：微分方程和传递函数；状态方程与输出方程；搜索、自学习和模拟进化等。
- **对被控对象数学模型的要求**不同：经典控制和现代控制均需要了解被控对象的数学模型，而智能控制则不需要了解被控对象的数学模型。
- **控制算法**不同：经典控制和现代控制基于精确的控制算法，而智能控制算法具有随机性和模糊性。

1.1 智能控制的产生和发展

❖ 智能控制的三个发展阶段



1.1 智能控制的产生和发展

1) 萌芽期（1960—1970）

- 20世纪60年代初，F. W. Smiths 首先采用性能模式识别器来学习最优控制方法，试图用模式识别技术来解决复杂系统的控制问题。
- 1965年，美国加州福尼亚大学伯克利分校的 L. A. Zadeh 提出了模糊集合理论，为模糊控制奠定数学基础。
- 1965年，美国Feigenbaum着手研制世界上第一个专家系统，普渡大学傅京逊（K. S. Fu）提出将人工智能中的直觉推理方法用于学习控制系统。

1.1 智能控制的产生和发展

- 1966年，Mendel 在空间飞行器——飞船控制系统设计中应用了人工智能技术，并提出了“人工智能控制”的概念。
- 1967年，Leondes 等人使用“智能控制”一词，并把记忆、目标分解等一些简单的人工智能技术用于学习控制系统，提高了系统处理不确定性问题的能力。

1.1 智能控制的产生和发展

2) 形成期（1970—1980）

- 20世纪70年代初，傅京孙等人从控制的角度进一步总结了人工智能技术与自适应、自组织、自学习控制的关系，正式提出智能控制是**人工智能技术与控制理论**的交叉，并在核反应堆、城市交通的控制中成功地应用了智能控制系统。
- 1974年，英国伦敦大学 E.H. Mamdani 教授把模糊理论用于控制领域，把Zadeh提出的 IF-THEN 型模糊规则用于模糊推理，并把这种推理用于蒸汽机的自动运转中，通过实验取得了良好的效果。

1.1 智能控制的产生和发展

- 1977年，Saridis 提出了智能控制的三元结构定义，即把智能控制看作是人工智能、自动控制和运筹学的交叉。
- 20世纪70年代后期，把规则型模糊推理用于控制领域的研究颇为盛行。1979年，Mamdani又成功研制出自组织模糊控制器，使得模糊控制器具有了较高的智能。

1.1 智能控制的产生和发展

3) 发展期（1980— ）

- 1982年，Fox等人完成了第一个名为ISIS的加工车间调度的专家系统，采用启发式技术与约束制导的方法，减少搜索空间，确定最佳调度方案。
- 1982年，Hopfield根据神经网络的非线性微分方程，引用能量函数（Lyapunov function）的概念，使神经网络的平衡稳定状态有了明确的判定方法，并利用模拟电路的基本元件构造了人工神经网络的硬件原理模型，为实现硬件奠定了基础，使神经网络的研究取得突破性进展。

1.1 智能控制的产生和发展

- 1983年，Saridis 把智能控制用于机器人的控制；美国西海岸AI（人工智能）风险企业发表了名为“Reveal”的模糊决策支援系统，在计算机运行管理和饭店经营管理方面，得到了成功的应用。
- 1985年，IEEE在纽约召开了第一届全球智能控制学术讨论会，标志着智能控制作为一个学科分支正式被学术界接受。
- 1986年，Rumelhart 等提出多层网络的 BP（“递推”，back propagation）算法，从实践上证实了神经网络具有很强的运算能力。

1.1 智能控制的产生和发展

- 1987年在费城举行的国际智能控制会议上，提出了智能控制是自动控制，人工智能、运筹学（Saridis）相结合或自动控制、人工智能、运筹学和信息论（蔡自兴）相结合的说法。此后，每年举行一次全球智能控制研讨会，形成了智能控制的研究热潮。

1.1 智能控制的产生和发展

1990年以后，智能控制进入应用阶段，其应用领域由工业过程控制扩展到军事、航天等高科技领域或日用家电领域。

- 模糊洗衣机，模糊空调机
- 石油价格预测专家系统（OPFES），地震预报专家系统（ESEP），勘测地下水专家系统（ESNCGW）以及各类故障诊断专家系统
- 美国的Hecht-Nielsen神经计算机公司已经开发了两代神经网络软硬件产品，IBM公司推出的神经网络工作站也进入市场。



1.1 智能控制的产生和发展

智能控制在国内也受到广泛重视。

- 1993年，中国自动化学会在北京召开了第一届全球华人智能控制与智能自动化大会。
- 1995年，在天津召开了智能自动化专业委员会成立大会及首届中国智能自动化学术大会。

目前，我国的智能控制研究水平已得到了国际学术界的认可。



1.1 智能控制的产生和发展

智能控制的学术团体：中国人工智能学会智能控制与智能管理专业委员会及智能机器人专业委员会，中国自动化学会智能自动化专业委员会等。

智能控制相关的刊物：《模式识别与人工智能》《智能系统学报》和《CAAI Transaction on Intelligence Technology》（《智能技术学报》）

序号	大会名称	召开时间	举行地点
1	第1届全球华人智能控制与智能自动化大会	1993年8月26-30日	北京
2	第2届全球华人智能控制与智能自动化大会	1997年6月23-27日	西安
3	第3届全球智能控制与智能自动化大学	2000年6月28日-7月2日	合肥
4	第4届全球智能控制与智能自动化大学	2002年6月10-14日	上海
5	第5届全球智能控制与智能自动化大学	2004年6月15-19日	杭州
6	第6届全球智能控制与智能自动化大学	2006年6月21-23日	大连
7	第7届全球智能控制与智能自动化大学	2008年6月25-27日	重庆
8	第8届智能控制与智能自动化世界大会	2010年7月7-9日	济南
9	第9届智能控制与智能自动化世界大会	2011年6月21-25日	台北
10	第10届智能控制与智能自动化世界大会	2012年7月6-8日	北京
11	第11届智能控制与智能自动化世界大会	2014年6月27-30日	沈阳
12	第12届智能控制与智能自动化世界大会	2016年6月12-15日	桂林
13	第13届智能控制与智能自动化世界大会	2018年月4-8日	长沙

第一章 绪 论



1.1 智能控制的产生和发展

1.2 智能控制的定义和特点

1.3 智能控制的主要分支

1.4 智能控制的应用

1.5 智能控制的研究方向和趋势

1.2 智能控制的定义和特点

IEEE定义：智能控制必须具有模拟人类学习（Learning）和自适应（Adaptation）的能力。

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

$$IC=AC \cap AI$$

美国学者 G.N. Saridis 1977年在此基础上引入运筹学，提出了三元论的智能控制概念，即

$$IC=AC \cap AI \cap OR$$

1.2 智能控制的定义和特点

$$\mathbf{IC=AC\cap AI\cap OR}$$

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）



1.2 智能控制的定义和特点

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。

1.2 智能控制的定义和特点

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。

1.2 智能控制的定义和特点

中国学者蔡自兴1987年提出四元智能控制结构，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

$$IC = AC \cap AI \cap OR \cap IN$$



信息论作为子集的理由：

信息论是解释知识和智能的一种手段；

控制论、系统论和信息论是紧密相互作用的；

信息论已成为控制智能机器的工具；

信息熵成为智能控制的测度；

信息论参与智能控制的全过程，并对执行级起到核心作用。

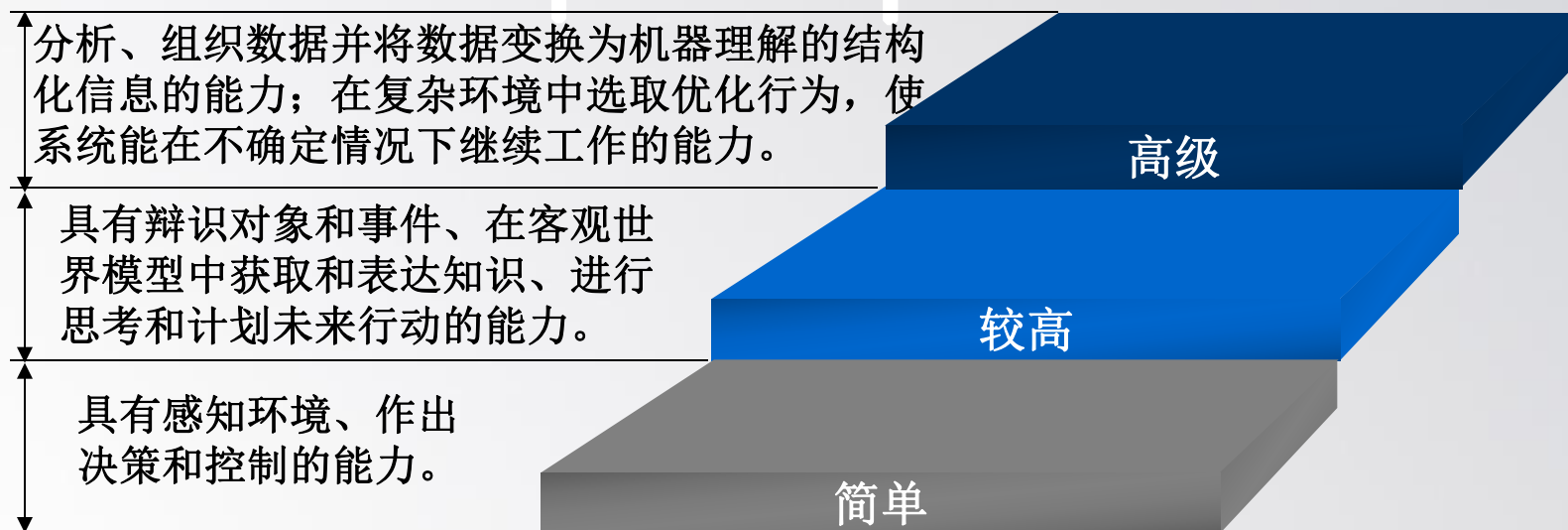
智能控制的多元论



- 随着研究对象规模的进一步扩大，大系统智能控制、分级递阶智能控制、分布式问题求解方法不断产生，而认知心理学、神经网络技术、进化论、遗传算法、混沌论更是从更高层次上研究智能控制，从而形成智能控制的多元论。

1.2 智能控制的定义和特点

一般来说，一个智能控制系统要具有对环境的敏感，进行决策和控制的功能，根据其性能要求的不同，可以有各种人工智能的水平。





1.2 智能控制的定义和特点

智能控制具有以下基本特点：

- 应能为复杂系统（如非线性、快时变、多变量、强耦合、不确定性等）进行有效的全局控制，并具有较强的容错能力。
- 定性决策和定量控制相结合的多模态组合控制。
- 从系统的功能和整体优化的角度来分析和综合系统，以实现预定的目标，并应具有自组织能力。
- 具有以知识表示的非数学广义模型和以数学表示的数学模型的混合控制过程，系统在信息处理上，既有数学运算又有逻辑和知识推理。

第一章 绪 论



1.1 智能控制的产生和发展

1.2 智能控制的定义和特点

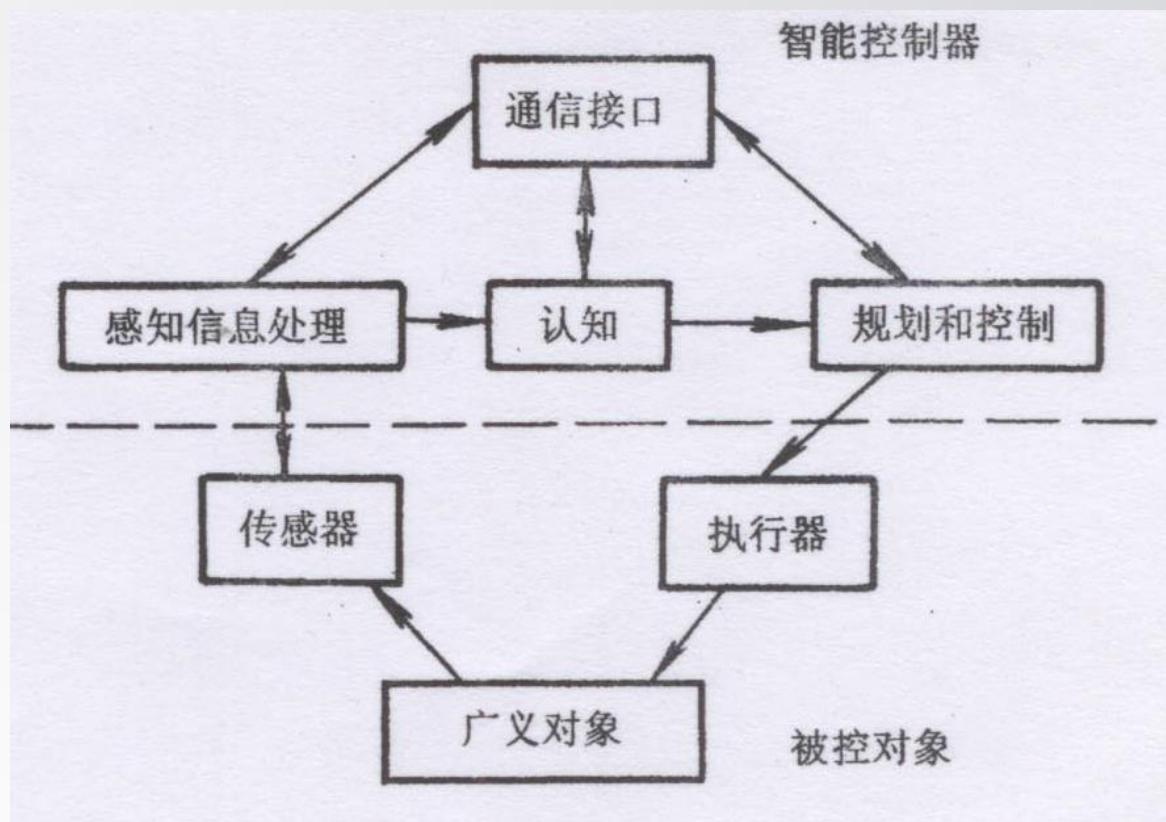
1.3 智能控制的主要分支

1.4 智能控制的应用

1.5 智能控制的研究方向和趋势

智能控制系统的构成原理

智能控制系统是实现某种控制任务的一种智能系统，即对于一个问题的激励输入，系统具备一定的智能行为，能够产生合适的求解问题的响应。



智能控制系统典型的原理结构



- ❖ “广义对象”：包括通常意义下的控制对象和外部环境。
- ❖ “传感器”：包括关节位置传感器、力传感器、视觉传感器、距离传感器、触觉传感器等
- ❖ “感知信息处理”：将传感器得到的原始信息加以处理，获得有用的信息。
- ❖ “认知”：接收和储存信息、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。
- ❖ “通信接口”：建立人机之间的联系，以及系统中各模块之间的联系；
- ❖ “规划和控制”：是整个系统的核心，根据给定的任务要求、反馈的信息以及经验知识，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。
- ❖ “执行器”：作用于控制对象。

1.3 智能控制的主要分支



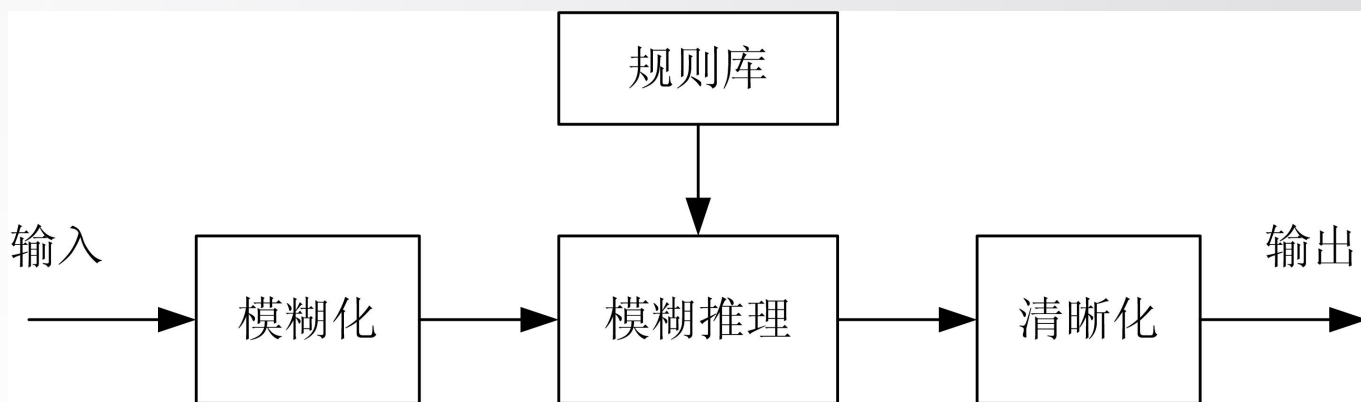
1.3 智能控制的主要分支

A. 模糊控制

■ 以模糊系统理论为基础的模糊控制

人类最初对事物的认识来看，都是定性的、模糊的和非精确的，因而将模糊信息引入智能控制具有现实的意义。模糊逻辑在控制领域的应用称为模糊控制。

它的基本思想是把人类专家对特定的被控对象或过程的控制策略总结成一系列以“**IF**（条件）**THEN**（作用）”形式表示的控制规则，通过模糊推理得到控制作用集，作用于被控对象或过程。



1.3 智能控制的主要分支



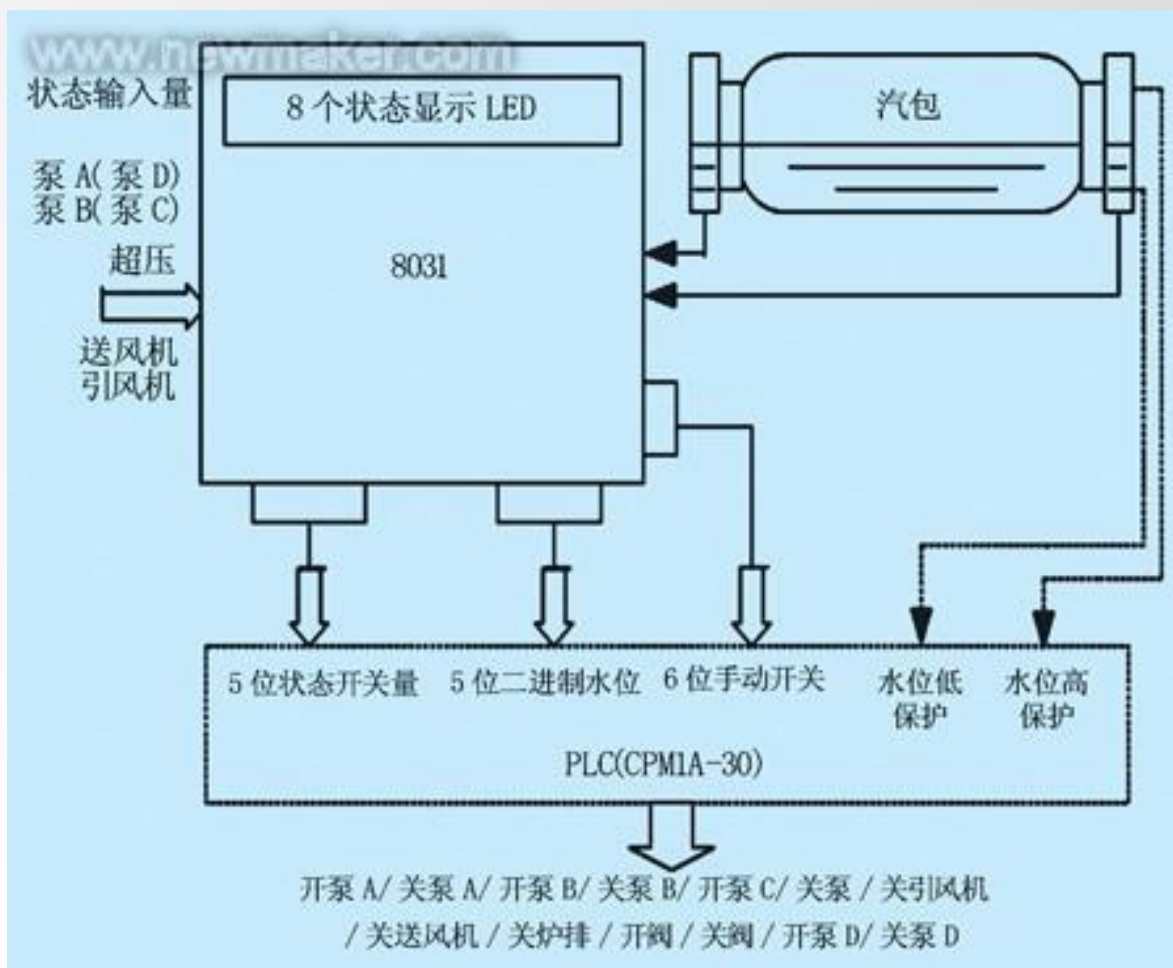
模糊控制的发展的三个阶段：

- (1) 1965年-1974年为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年为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—现在为模糊控制发展的第三阶段，即高性能模糊控制阶段。

模糊控制——一种新颖的智能控制方式



1965年	美国加利福尼亚大学（L.A.Zadeh）模糊集理论 《Fuzzy Sets》、《Fuzzy Algorithm》、《A Rationale for Fuzzy Control》
1972	日本东京工业大学发起“模糊系统研究会”
1973	模糊工程——名词公开使用
1974	加利福尼亚大学美日研究班上——“模糊集合及其应用” 伦敦大学的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。
1978	《Fuzzy Sets and Systems》创刊
1983	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
1984	夏威夷——“国际模糊系统学会”
1985	（IFSA-International Fuzzy System Association）西班牙首届
1988	日本学术厅“模糊研究会”
1989	“模糊系统的今后方向”报告——“模糊系统相关图”
1992	IEEE Fuzzy Systems 国际会议 每年一次
1993	《IEEE Trans. on Fuzzy Systems》创刊



规则1：如果误差为零，或者误差变化为正小，则阀门半开。

规则2：如果误差为正小和误差变化为正小，则阀门中等。

基于模糊理论的PLC锅炉水位控制器

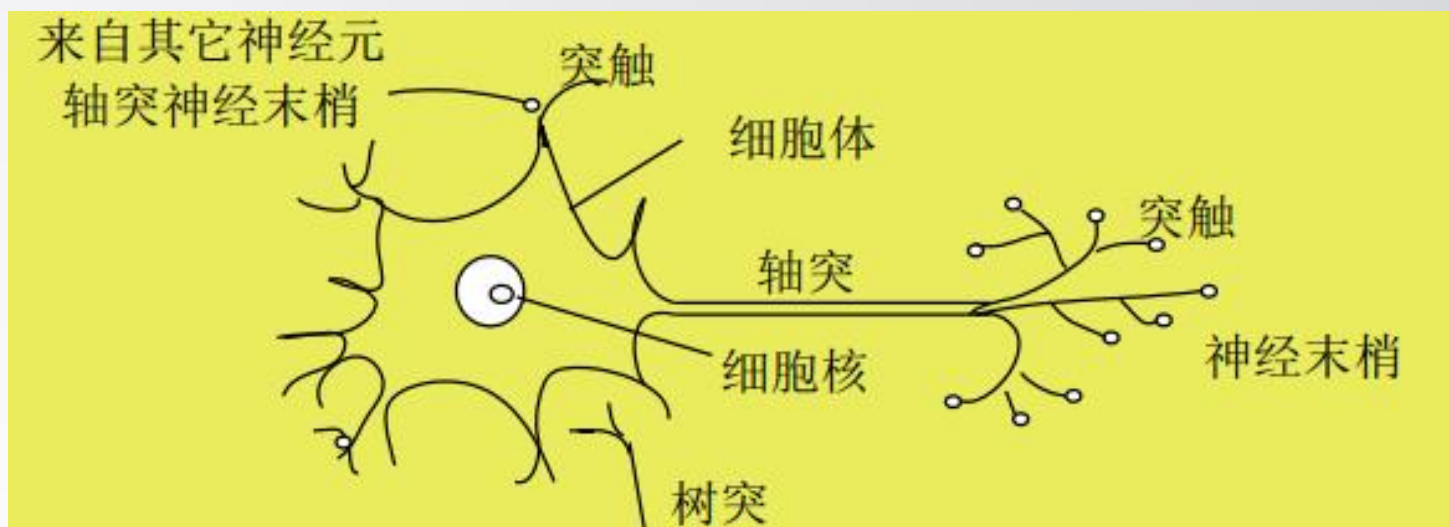
1.3 智能控制的主要分支



B. 神经网络控制

■ 基于脑模型的神经网络控制

人工神经网络采用仿生学的观点与方法来研究人脑和智能系统中的高级信息处理。



生物神经元示意图

用橡皮锤轻轻叩击
膝盖下面的韧带

感受器

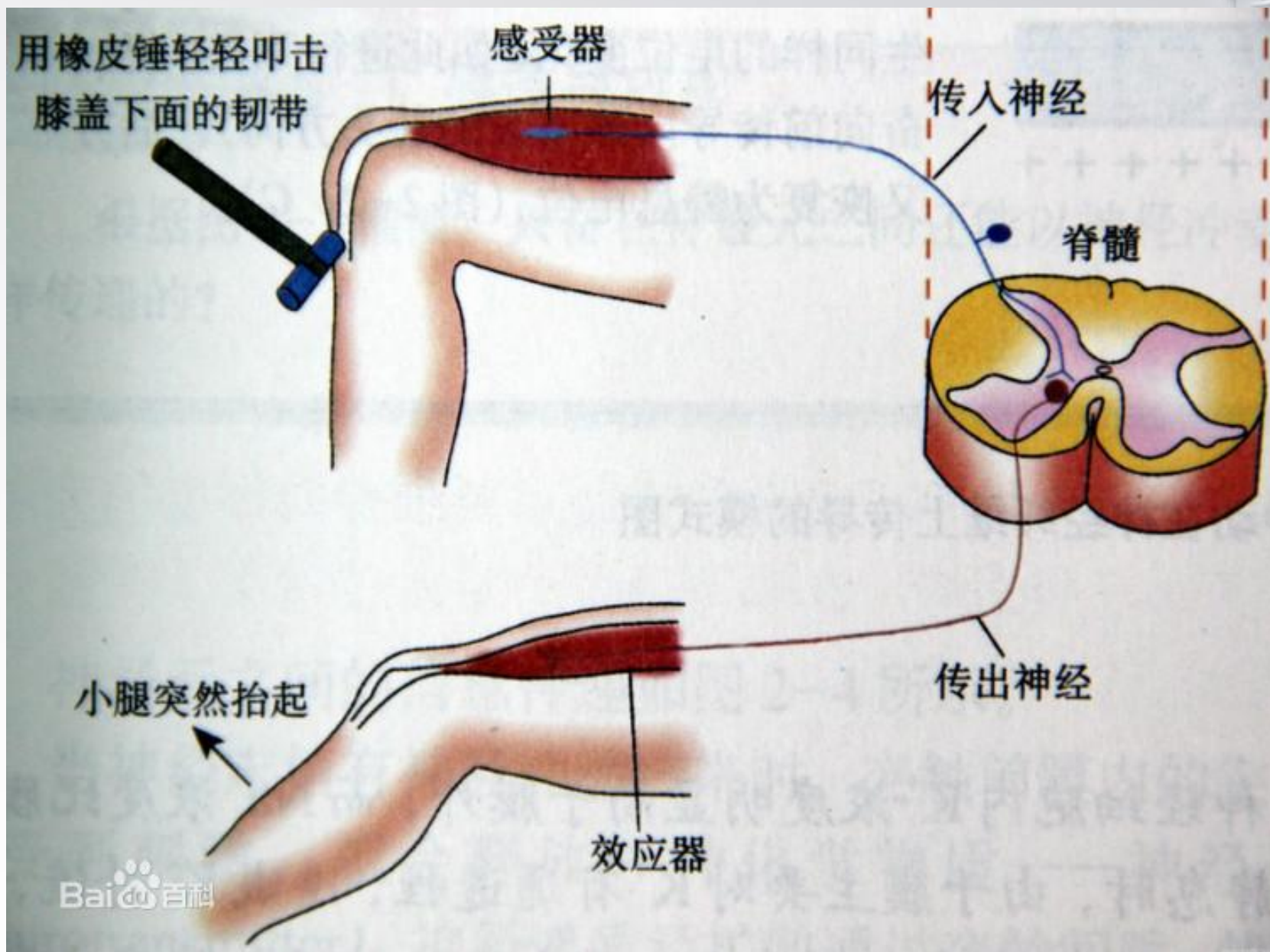
传入神经

脊髓

传出神经

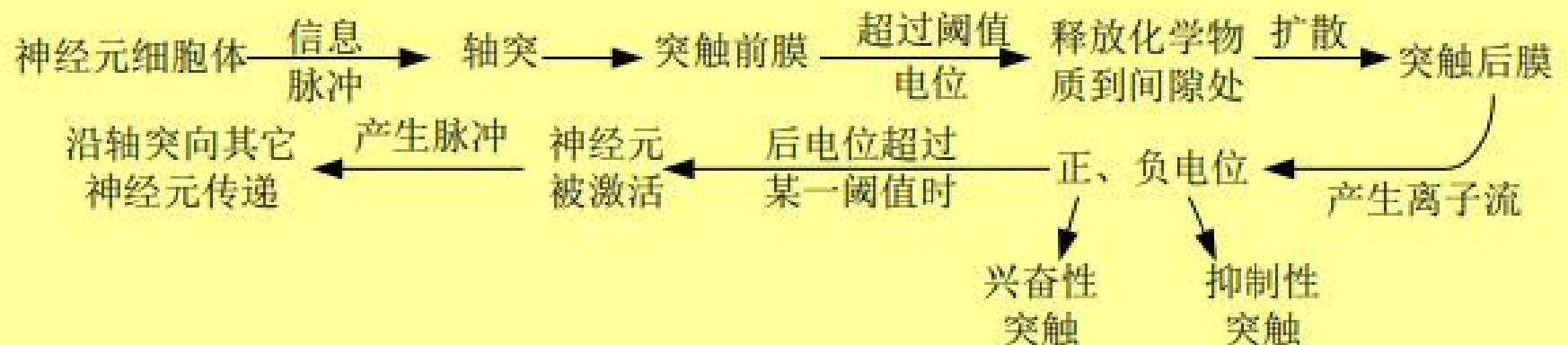
小腿突然抬起

效应器

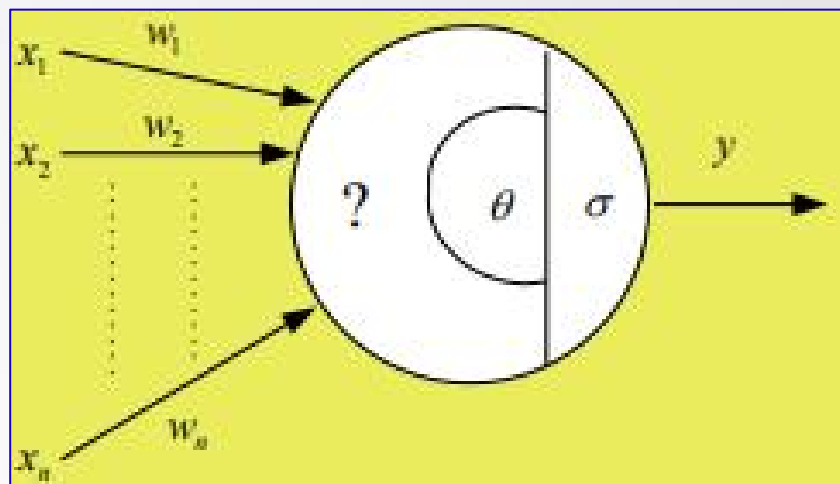




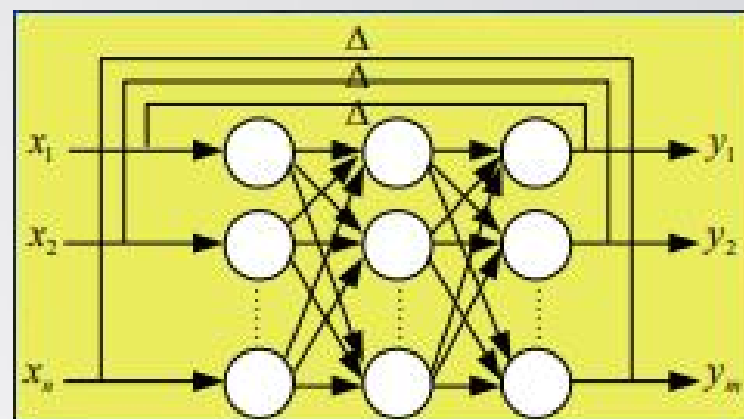
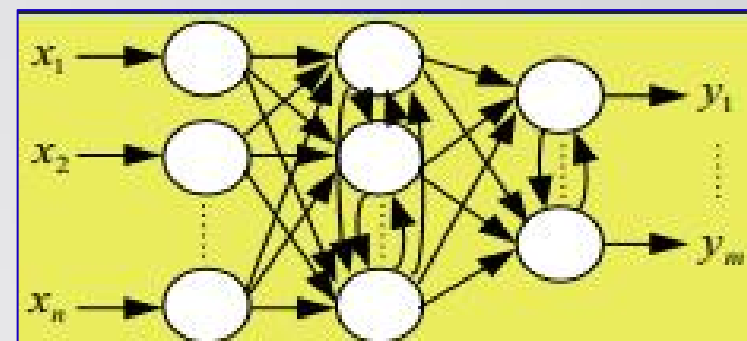
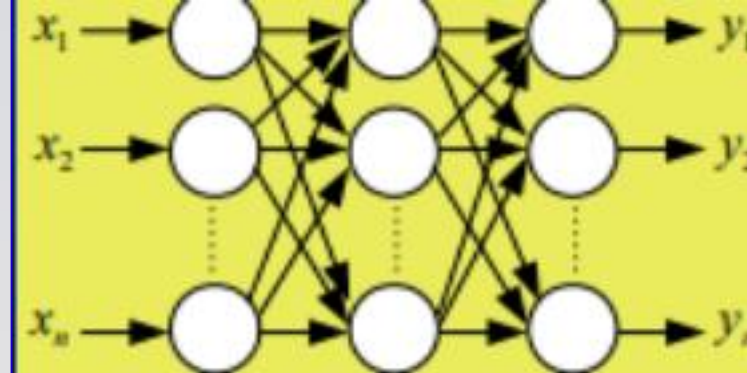
突触结构示意图



信息传递过程



人工神经元模型



各种人工神经网络

1.3 智能控制的主要分支

- **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。
- 一般的神经元网络有两种功能模式：
 - (1)建模。
 - (2)控制。

神经网络控制——一个智能控制的重要分支

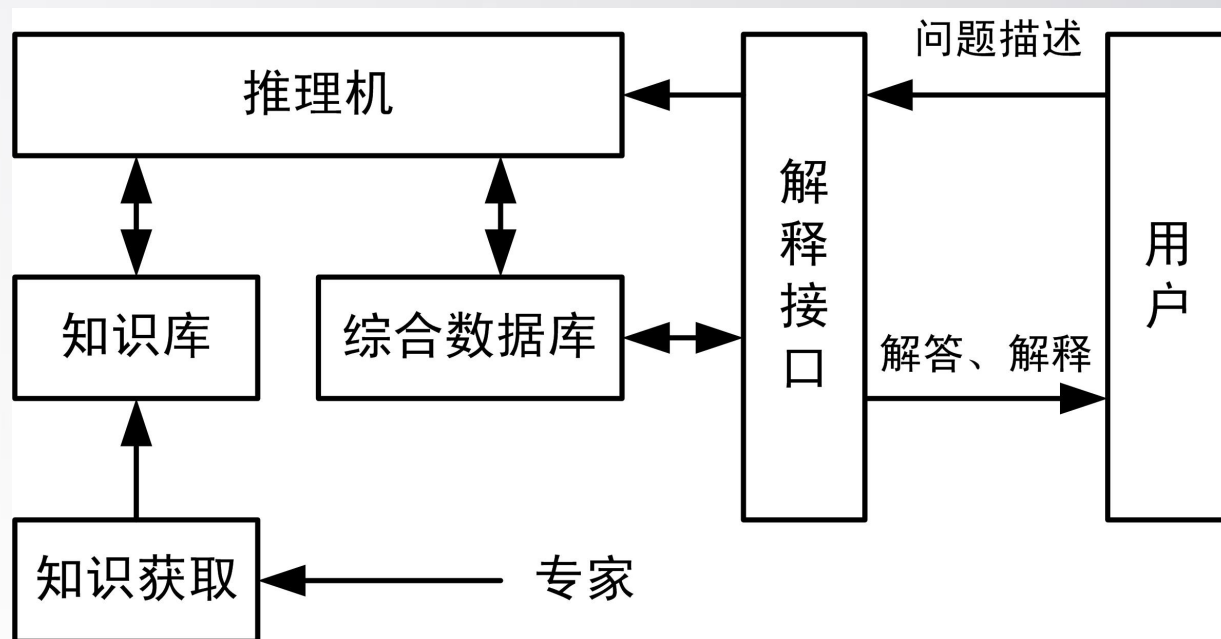


1943年	心理学家W.S.MoCulloch和数学家W.Pitts提出M-P模型
1949年	心理学家 D.O. Hebb 算法
50年代末	F.Rosenblatt—感知机（Perceptron）第一个完整的人工神经网络
1969年	美 MIT的M.Minsky和S.Papert编写《Perceptron》一书
70年代	芬兰 T. Kohonen 自组织映射理论；美国 S.A. Grossberg 自适应共振理论 日本 福岛邦彦（K.Fukushima） 认知机（Neocognitron）模型 日本 甘利俊（Shunichi Amari） 神经网络的数学理论
1982年 ~1984年	J.J. Hopfield Hopfield 网络模型
1986年	D.E.Rumelhart 和J.L.MoClelland两本专著—— EBP算法（误差反向传播）
1987年	美 R.Hecht-Nielsen —— 对向传播（Counter Propagation）
1987年	国际神经网络学会
1988年	美 L.O. Chua —— CNN细胞神经网络模型
1988年	《Neural Network》创刊
1990年	《IEEE Transactions on Neural Network》

1.3 智能控制的主要分支

C. 专家控制

- **专家：**那些解决专门问题非常熟悉的人，他们的这种专门技术通常源于丰富的经验，以及他们处理的详细专业知识。
- **专家系统：**是一个智能计算机程序系统，其内部含有大量的某个领域专家水平的知识与经验，能够利用人类专家的知识解决问题的经验方法来处理该领域的高水平难题。





专家系统是由许多收集的规则组成，它表示了知识和结果。一般的专家控制系统由三部分组成：

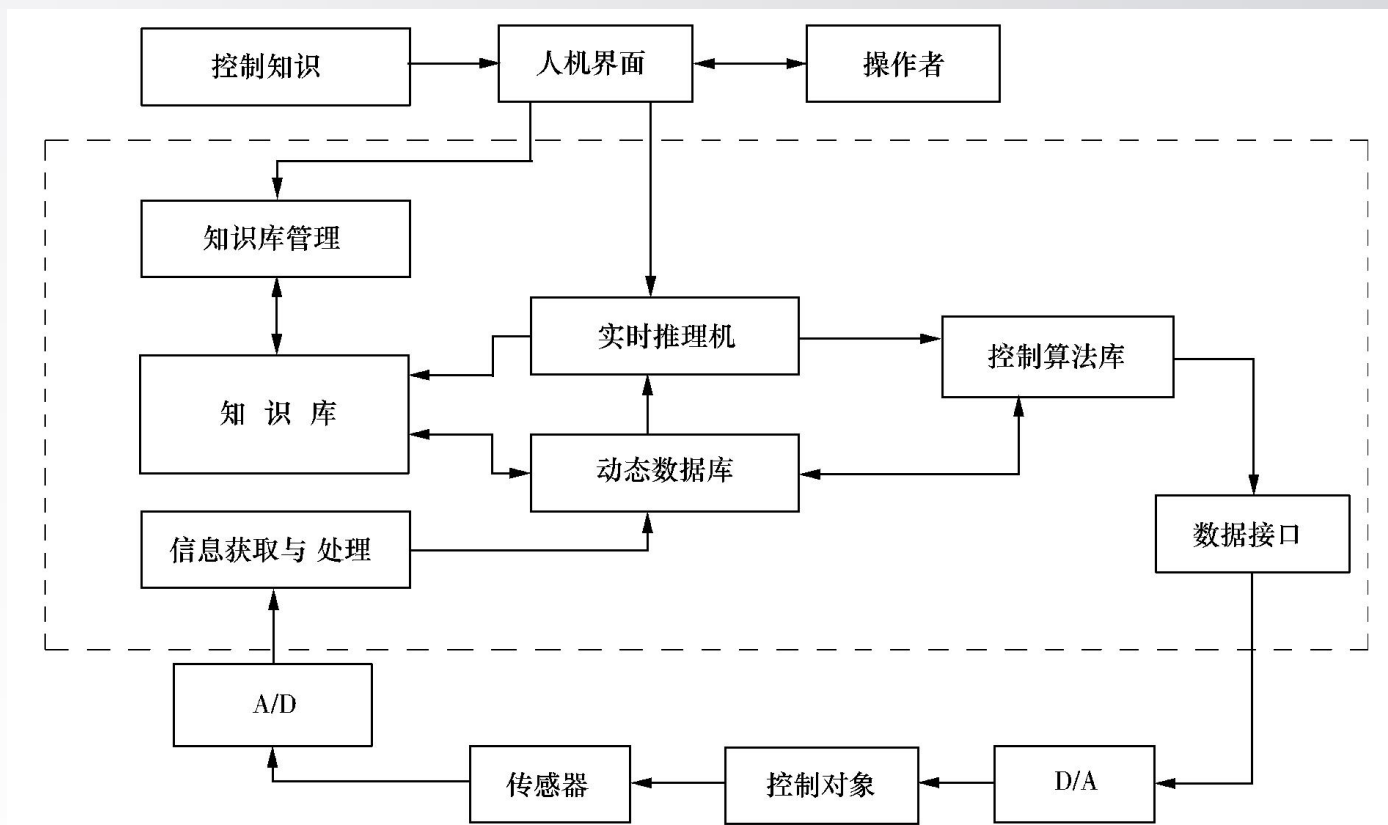
- (1) 控制机制，决定控制过程的策略，即控制哪一个规则被激活，什么时候被激活等。
- (2) 推理机制，实现知识之间的逻辑推理以及与知识库的匹配。
- (3) 知识库，包括事实、判断、规则、经验以及数学模型。

1.3 智能控制的主要分支

C. 专家控制

■ 基于知识工程的专家控制系统

专家控制系统：具有专家智能的功能，采用专家系统技术与控制理论相结合的方法设计控制系统。



1.3 智能控制的主要分支

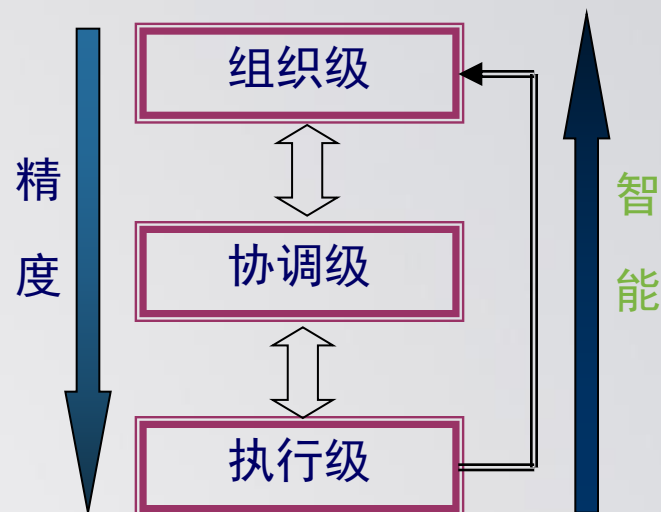


D. 分级递阶智能控制

■ 基于信息论的分级递阶智能控制

三级分级递阶智能控制系统是由 **G. N. Saridis**于1977年在自适应控制和自组织控制基础上提出的。该系统由组织级、协调级和执行级组成，遵循“**精度递增伴随智能递减**”的原则。

- 组织级起主导作用，涉及知识的表示与处理，主要应用人工智能；
- 协调级在组织级和执行级间起连接作用，涉及决策方式及其表示，采用人工智能及运筹学实现控制；
- 执行级是底层，具有很高的控制精度，采用常规自动控制。



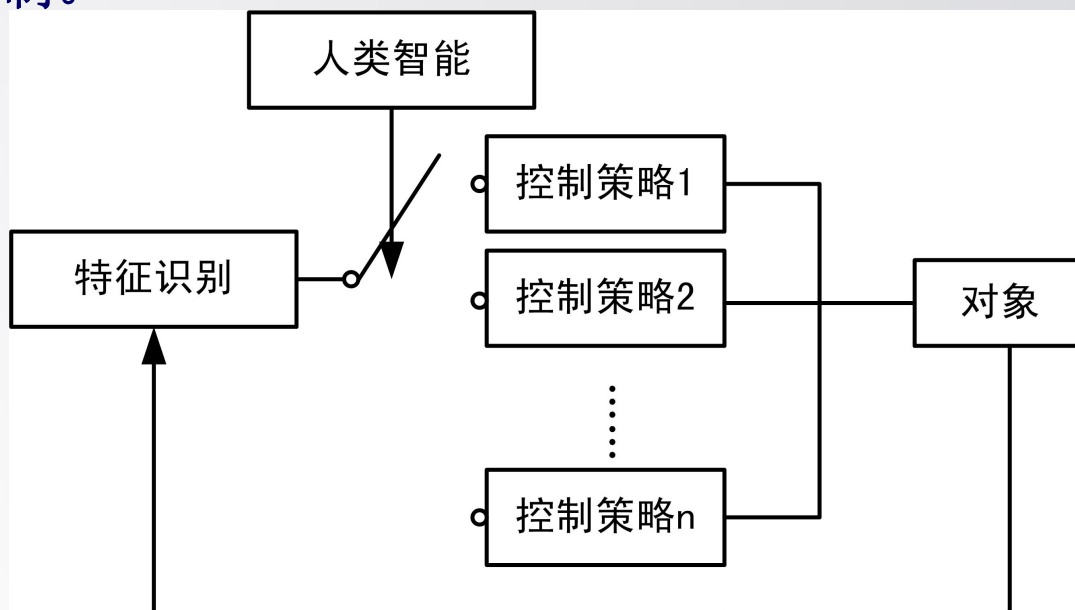
1.3 智能控制的主要分支



E. 仿人智能控制

■ 基于规则的仿人智能控制

仿人智能控制的核心思想是在控制过程中，利用计算机模拟人的控制行为功能，最大限度地识别和利用控制系统动态过程提供的特征信息，进行启发和直觉推理，从而实现对缺乏精确模型的对象进行有效的控制。其基本原理是**模仿人的启发式直觉推理逻辑**，即通过特征辨识判断系统当前所处的特征状态，确定控制的策略，进行多模态控制。



1.3 智能控制的主要分支



F. 各种方法的集成

- 模糊神经网络控制
- 模糊专家控制
- 模糊PID控制
- 神经网络鲁棒控制
- 神经网络自适应控制
-



1.3 智能控制的主要分支

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。

(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 智能控制的主要分支



(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。

(4) 遗传算法

遗传算法根据适者生存、优胜劣汰等自然进化规则来进行搜索计算和问题求解。对许多传统数学难以解决或明显失效的复杂问题，特别是优化问题，GA（**Genetic Algorithm**）提供了一个行之有效的途径。

1.3 智能控制的主要分支

(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。

第一章 绪 论



1.1 智能控制的产生和发展

1.2 智能控制的定义和特点

1.3 智能控制的主要分支

1.4 智能控制的应用

1.5 智能控制的研究方向和趋势



1.4 智能控制的应用

(1) 在机器人控制中的应用

(2) 在过程控制中的应用

(3) 在智能电网中的应用

(4) 在现代农业中的应用

.....



1.4 智能控制的应用

(1) 在机器人控制中的应用

- 基于多传感器信息融合和图像处理的移动机器人导航控制与装配
- 机器人自主避障和路径规划
- 机器人非线性动力学控制
- 空间机器人的姿态控制

1.4 智能控制的应用

(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。

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，有效地提高了生产效率。

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。

1.4 智能控制的应用

(3) 在智能电网中的应用

智能控制技术应用用于电网故障检测、测量、补偿、控制和决策系统中，能够实现电网的智能化，提高电网的运行效率。

采用模糊逻辑控制技术能够及时发现电网中的安全隐患，提高电网的可靠性、抗干扰性能，保证系统稳定运行。

将专家控制系统应用于电网规划，可以充分利用电力专家的经验 and 知识，不断优化电网的规划质量，提高电网优化效率。

1.4 智能控制的应用

(4) 在现代农业中的应用

将智能控制技术应用用于农事操作过程，调节植物生长所需的温度、肥力、光照强度、CO₂浓度等指标，实现对植物生长因素的精准控制，实现规模化的发展和农业最大利益。

建立农业数据库，使生产者能够大面积、低成本、快速、准确获取农业信息，根据市场确定农产品的数量，实现农业数据处理的标准化与智能化。



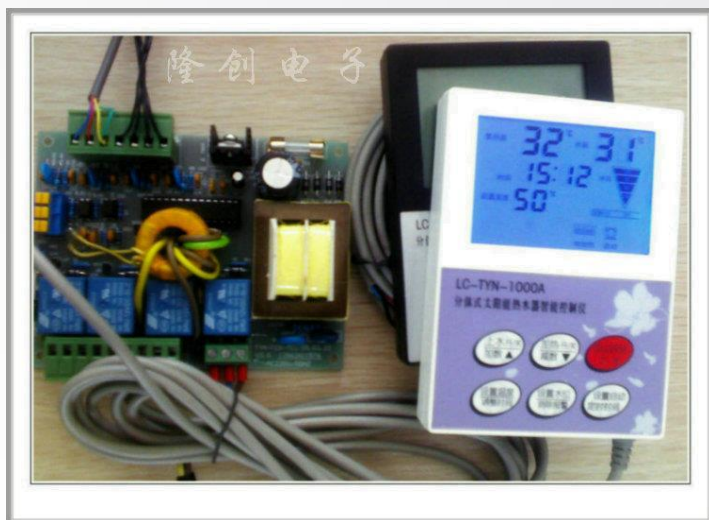
沟槽式公厕电磁阀
智能控制冲水器



电动轮椅车智能控制器



宿舍安全用电
智能控制器



分体式太阳能热水器智能控制仪



指纹电梯门禁智能控制系统



PDA



上网



发短信



打电话



家庭智能终端



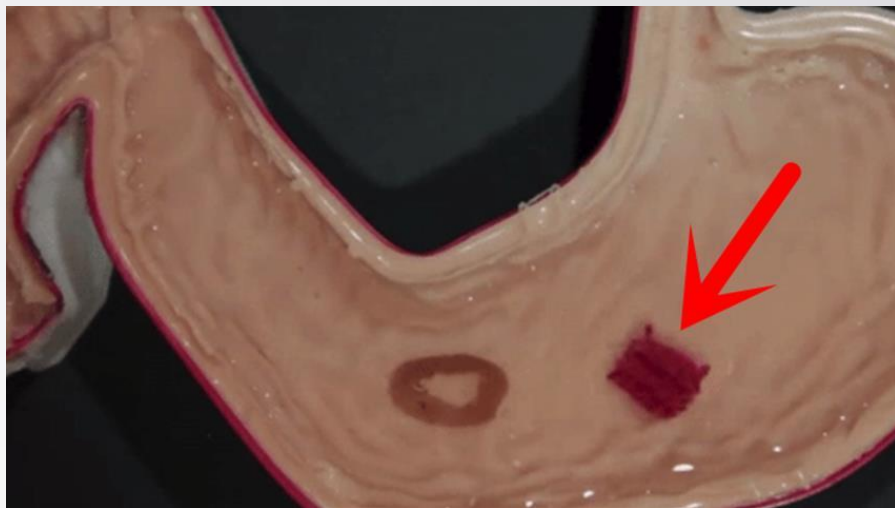


Linux家庭智能控制系统



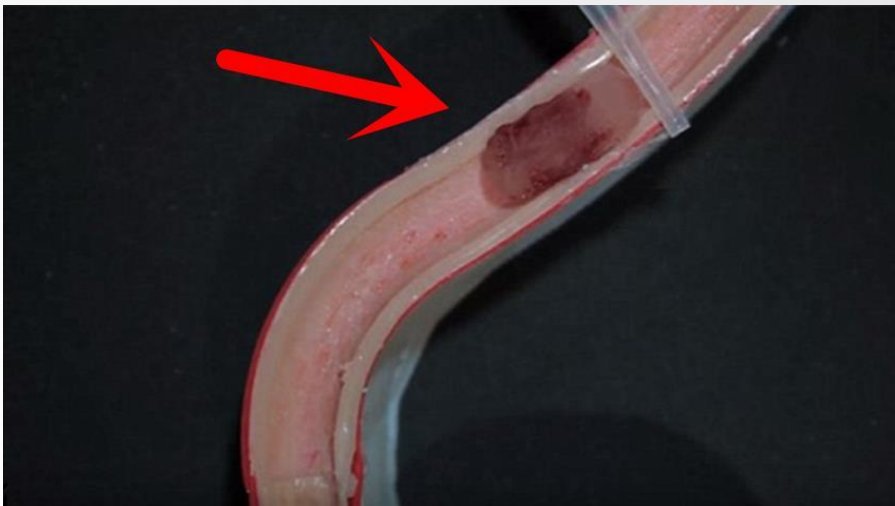
itch Bot号称世界上最小的远程机器人，但它的功能主要是伸出小爪子，帮你控制家中的开关按钮。不用重新再买或者电路改造，只要把它贴在电器的开关位置，就能通过蓝牙或Wifi远程控制。

磁控软体机器人

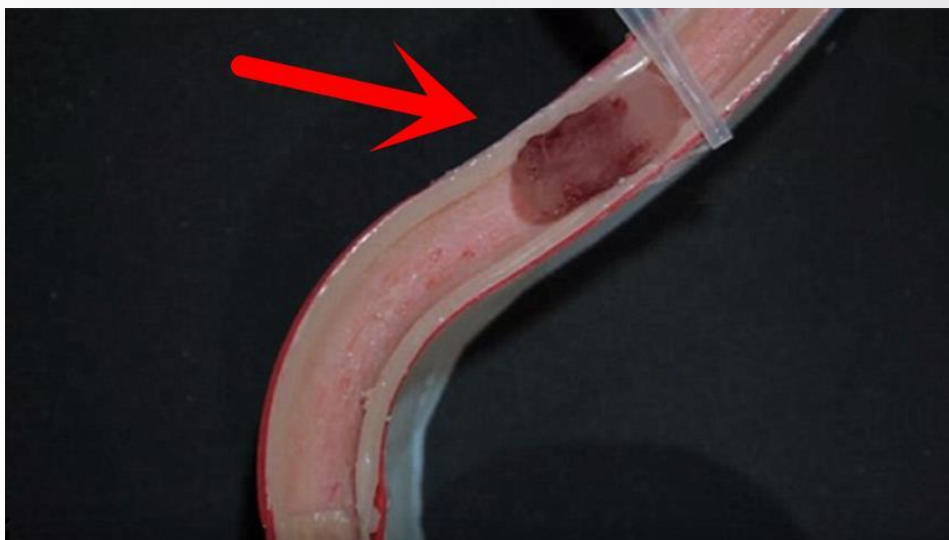
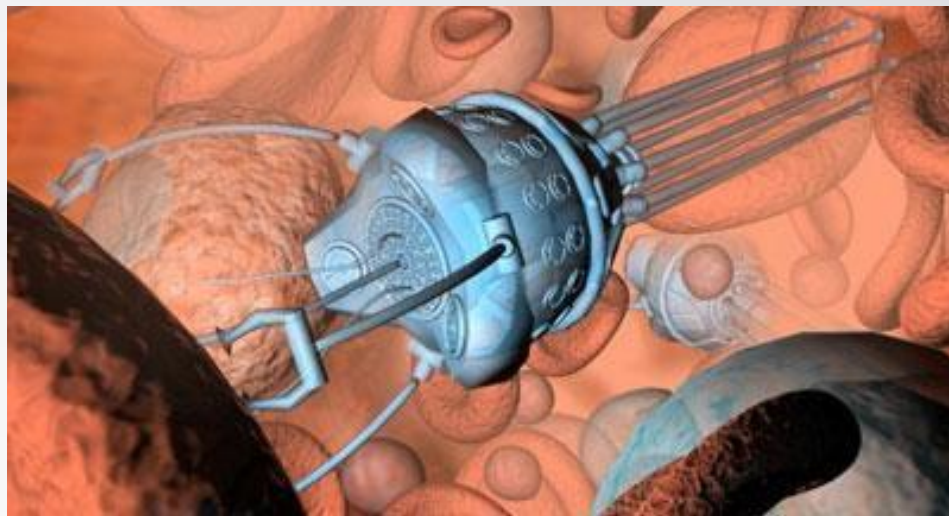


德国的马克斯·普朗克研究所的研究团队研发了一种毫米尺寸的医疗机器人——磁控软体机器人。

它长3.7mm，宽1.5mm，小小身板即使是站在一元硬币旁边都显得小鸟依人。从外形看，它就是一个毫不起眼的黑色塑料片。但其实它硅胶的外壳中镶嵌着一种微粒，这种微粒能在磁场控制下「活过来」，让小黑片像动物一样行动。



一种能钻入血管的机器人想象图



像水母一样在水里游泳；像昆虫一样在细管中爬行。它甚至还能跳起来，轻松越过高台。可以说是非常灵活了。最重要的是，它士兵一样卷起「货物」，向前滚动，滚到目的地。研究人员希望，将来小黑片能够装上摄像头，通过服食或者皮肤进入人体，在人工操控的磁场下一探人体内的病灶。甚至是直接把药物带到指定地点，或者把堵塞血管的杂物带走。



2017年8月22日，英国科学家研发出了世界上最小的外科手术机器人，它可以变换手术模式，每天为成千上万的患者进行手术。

我国在工程控制方面的成就

中国航天事业“三步走”

发射无人和载人飞船，将航天员安全地送入近地轨道，进行对地观测和科学实验，并使航天员安全返回地面。随着我国第一名航天员杨利伟于2003年10月16日成功返回，载人航天实现历史性突破，第一步任务已经完成

第一步



神舟五号载人飞船

继续突破载人航天的基本技术：多人多天飞行、航天员出舱在太空行走、完成飞船与空间舱的交会对接。在这些基础上，发射短期有人照料的空间实验室，建成完整配套的空间工程系统

第二步



中国未来空间实验室假想图

建成永久性的空间试验室，建成中国的空间工程系统，航天员和科学家可以往来于地球与空间站

第三步



中国空间站假想图

中国载人航天工程是我国航天史上迄今为止规模最大、系统组成最复杂、技术难度和安全性要求最高的跨世纪国家重点工程，包括：航天员、空间应用、载人飞船、运载火箭、发射场、测控通信、着陆场、空间实验室等八大系统组成。

在工程实施方面主要又包括：卫星、神舟载人飞船和嫦娥探月三大系统。

中国独立自主建设的空间站工程



2021年4月29，天和核心舱成功发射（长征五号**B**遥二运载火箭）

2021年5月29日，天舟二号货运飞船（长征七号遥三运载火箭）

2021年6月17日，神舟十二号载人飞船（长征二号**F**遥十二运载火箭）

2021年9月20日，天舟三号货运飞船（长征七号遥四运载火箭）

2021年10月16日，神舟十三号载人飞船（长征二号**F**遥十三运载火箭）

2022年5月10日，天舟四号货运飞船（长征七号遥五运载火箭）

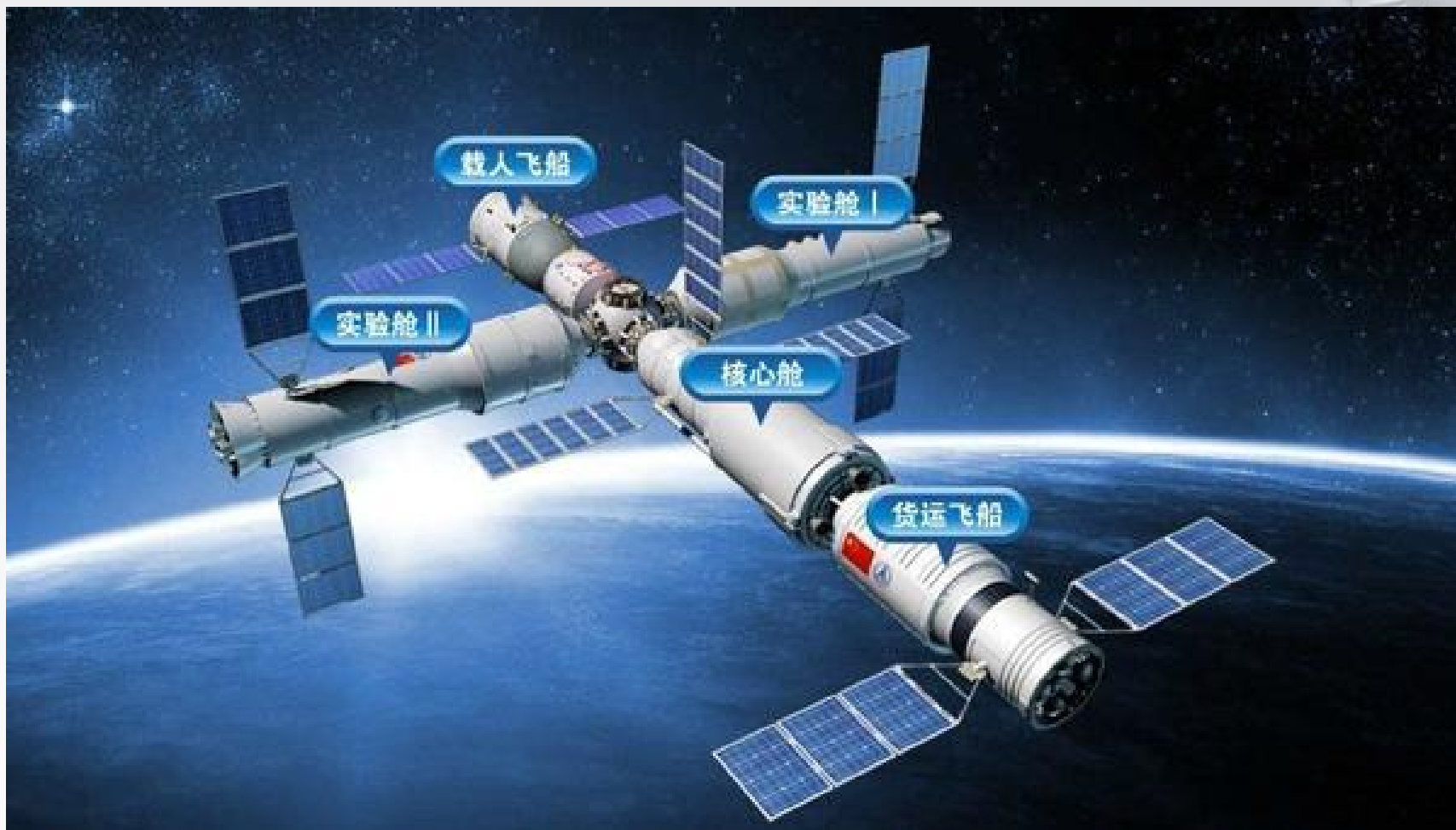
2022年6月5日，神舟十四号载人飞船（长征二号**F**遥十四运载火箭）

2022年7月24日，问天实验舱（长征五号**B**遥三运载火箭）

2022年10月27日（预计），梦天实验舱（长征五号**B**遥四运载火箭）

2022年11月（预计），天舟五号货运飞船（长征七号遥六运载火箭）

2022年12月（预计），神舟十五号载人飞船（长征二号**F**遥十五运载火箭）



空间站各舱段示意图

我国在工程控制方面的成就



我国已建成了比较完整的陆海基测控网，能完成从近地轨道卫星到地球同步卫星的测控任务。我国的测控技术的某些方面已处于国际先进水平。

测控是工程控制科学与通信技术结合的一体化工程，其特点有：

- 1) 多任务测控；
- 2) 深空跟踪；
- 3) 卫星测控设备；
- 4) 测控和通信。



地面测控站



智能控制室解决方案包括：

- ✓ **基础环境建设：**通过照明、温度、声学需要进行环境建设和综合布线，为控制室提供一个可靠、舒适、功能分区的环境。
- ✓ **显示系统解决方案：**包括大屏幕拼接墙系统、辅助显示系统、桌面显示系统、信号接入系统等，用于支撑不同用途下操作员、领导、参观者等多种角色的需要。显示系统根据控制室空间环境，信号的种类和使用特点综合设计。
- ✓ **拾音扩音解决方案：**包括拾音子系统、处理子系统、扩声子系统，用于支持在会议、报告、指挥等场景下声音传送的需要。
- ✓ **数字会议解决方案：**由网络子系统、投影显示子系统、音响子系统、监控子系统、会议发言子系统、灯光效果子系统和中央控制子系统等组成，提供会议报到、发言、表决、翻译、摄像、音响、显示等功能。
- ✓ **集中控制解决方案：**提供一体化的方式，对控制室内的设备设施如：灯光、窗帘、大屏、矩阵、信号源进行统一控制的功能，可以大大降低支持人员的工作强度。



- ✓ **视频会议解决方案：**提供控制室与其他单位之间面对面的信息沟通的通道。
- ✓ **视频整合解决方案：**通过视频整合可以将不同时期、采用不同技术分别建立的视频监控系统整合到一个平台上，统一的进行查看。
- ✓ **网络通信解决方案：**为控制室工作人员提供语音、数据、
- ✓ 无线等多种渠道的通信方式，保障通信的质量。
- ✓ **卫星通信解决方案：**应急状态下的备份通信方式，可在重大灾害发生时提供关键信息的通信，也可对不具备通信条件的地区进行通信覆盖。
- ✓ **控制台与人体工学解决方案：**针对控制室工作岗位的要求，及工作者的工作范围和使用极限，设计专门的可调、耐用、舒适的控制台。

第一章 绪论

- 1.1 智能控制的产生和发展
- 1.2 智能控制的定义和特点
- 1.3 智能控制的主要分支
- 1.4 智能控制的应用
- 1.5 智能控制的研究方向和趋势**



1.5 智能控制的研究方向和趋势

❖ 目前的主要研究方向和内容

- 智能控制的基础理论和方法研究
- 智能控制系统结构研究
- 基于知识系统及专家控制
- 基于模糊系统的智能控制
- 基于学习及适应性的智能控制
- 基于神经网络的智能控制系统

1.5 智能控制的研究方向和趋势

- 基于信息论和进化论（遗传算法）的学习控制器研究
- 其他，如计算机智能集成制造系统、智能计算系统、智能并行控制、智能容错控制、智能机器人等

智能控制是一门跨学科、需要多学科提供基础支持的技术科学，因此智能控制系统必然是一个**综合集成**智能系统。“**综合**”体现了方法的多样性，“**集成**”体现了各种方法的统一性。

1.5 智能控制的研究方向和趋势

智能控制系统尚需探索的问题很多，主要应开展以下几个方面的工作：

- 1) 开展智能控制理论与应用的研究。
- 2) 充分运用神经生理学、心理学、认识科学和人工智能等学科的基本理论，深入研究人类解决问题时表现出来的经验、技巧、策略，建立切实可行的智能控制体系结构。

1.5 智能控制的研究方向和趋势

- 3) 把现有的模糊系统、信息论、进化论、神经网络理论和技术与传统的控制理论相结合，充分利用现有的控制理论，研究适合于当前计算机资源条件的智能控制策略和系统。
- 4) 研究人-机交互式的智能控制系统和学习系统，以不断提高智能控制系统的智能水平。
- 5) 研究适合智能控制系统的并行处理机、信号处理器、智能传感器和智能开发工具软件，使智能控制得到更加广泛的应用。

小结



- 1. 智能控制的产生的背景和发展的历史**
- 2. 智能控制的定义和特点**
- 3. 智能控制的几个重要分支**
- 4. 智能控制的应用**
- 5. 智能控制的现状和趋势**

习题和思考题



- 1 简述智能控制的概念。
- 2 比较智能控制和传统控制的特点？
- 3 智能控制有那些应用领域？试举出一个应用实例。