

# 智能控制基础

授课教师：陈静

# 课程性质



- **学 时 : 42 ( 9~15 )**
- **期末成绩=平时成绩(30%)  
+ 考试成绩(70%)**

参考书教材：韦巍，何衍主编. 智能控制基础，清华大学出版社.  
师黎主编，智能控制理论及其应用，清华大学出版社  
程武山，智能控制理论及其应用，上海交通大学出版社

# 问题

1

学些什么？

2

有什么用？

3

如何学？



# 算法

- 模糊控制
  - 自适应模糊控制
  - T-S模型模糊算法
- 神经网络控制
  - BP算法
  - RBF算法
  - CMAC算法
- 专家控制
- 遗传、蚁群算法









拓宽知识层面及解题思维

为研究生的学习和研究  
奠定理论基础



各学科的融会贯通  
掌握算法的精髓  
学会编程  
学会应用  
教与学



# 目录CONTENTS

1

绪论

2

专家控制

3

模糊控制的理论基础

4

模糊控制

# 目录CONTENTS

6

神经网络的理论基础

7

典型神经网络

8

高级神经网络

9

神经网络控制

# 第1章 绪论



绪  
论

1.1 智能控制的发展过程

1.2 智能控制的几个主要分支

1.3 智能控制的特点、研究工具及应用



## 1.1.1 智能控制的提出

### 传统控制遇到的难题

- 1、无法获得实际系统的精确数学模型
- 2、针对实际系统需要进行一些比较苛刻的线性化假设，假设与实际不符合
- 3、实际控制任务复杂，传统控制达不到要求

## 1.1.1 智能控制的提出

### 智能控制研究对象的特点

- 1、不确定的而模型
- 2、高度的非线性
- 3、复杂的任务要求



## 1.1.2智能的定义

### 智能手机

是指像个人电脑一样，具有独立的操作系统，独立的运行空间，可以由用户自行安装软件、游戏、导航等第三方服务商提供的程序，并可以通过移动通讯网络来实现无线网络接入的一类手机的总称



# 智能电视

是具有全开放式平台，搭载了操作系统，用户在欣赏普通电视内容的同时，可自行安装和卸载各类应用软件，持续对功能进行扩充和升级的新电视产品。



# 智能电网

是电网的智能化，也被称为“电网2.0”，它是建立在集成的、高速双向通信网络的基础上，通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法及先进的决策支持系统技术的应用，实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标，其主要特征包括自愈、激励和包括用户、抵御攻击、提供满足21世纪用户需求的电能质量、容许各种不同发电形式的接入、启动电力市场以及资产的优化高效运行。

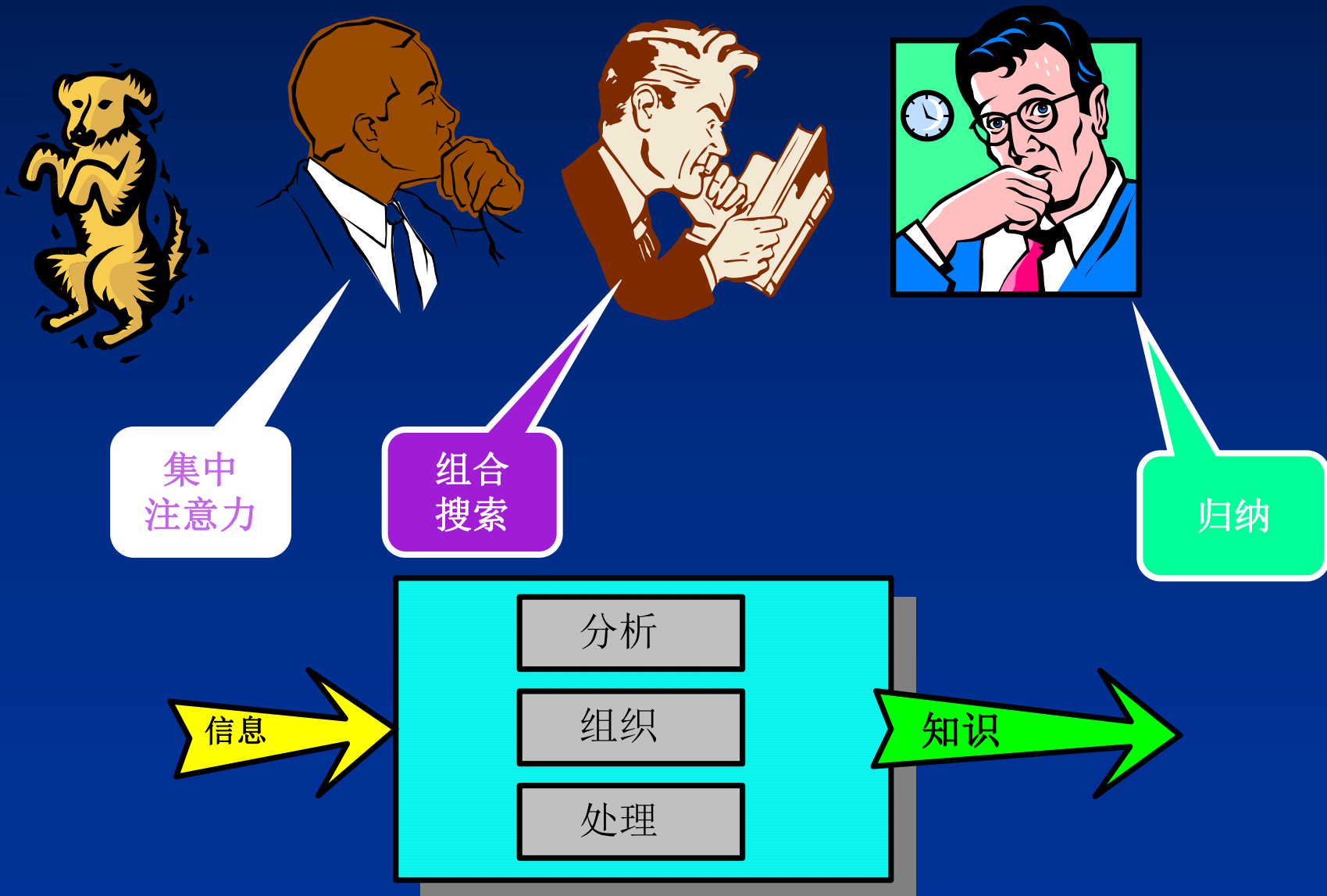
# 智能

**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的机器。

**人工智能（学科）：**人工智能（学科）是计算机科学种涉及研究、涉及和应用智能机器的一个分支。它的近期主要目标在于研究用机器来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

# 智能



# 智能控制的定义

## 定义一

智能控制是由智能机器自主地实现其目标的过程。而智能机器则定义为，在结构化或非结构化的，熟悉的或陌生的环境中，自主地或与人交互地执行人类规定的任务的一种机器。

美国机器人今天启程开展火星登陆探险





## 定义二

K. J 奥斯特罗姆认为，把人类具有的直觉推理和试凑法等智能加以形式化或机器模拟，并用于控制系统的分析与设计中，使之在一定程度上实现控制系统的智能化。



## 定义三

智能控制是一类无需人的干预就能自主地驱动智能机器实现目标的自动控制，也是用计算机模拟人类智能的一个重要领域。

美国机器人今天启程开展火星登陆探险





## 定义四

智能控制实际只是研究与模拟人类智能活动及其控制与信息传递过程的规律，研制具有仿人智能的工程控制与信息处理。

美国机器人今天启程开展火星登陆探险



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。美国学者G.N.Saridis1977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

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

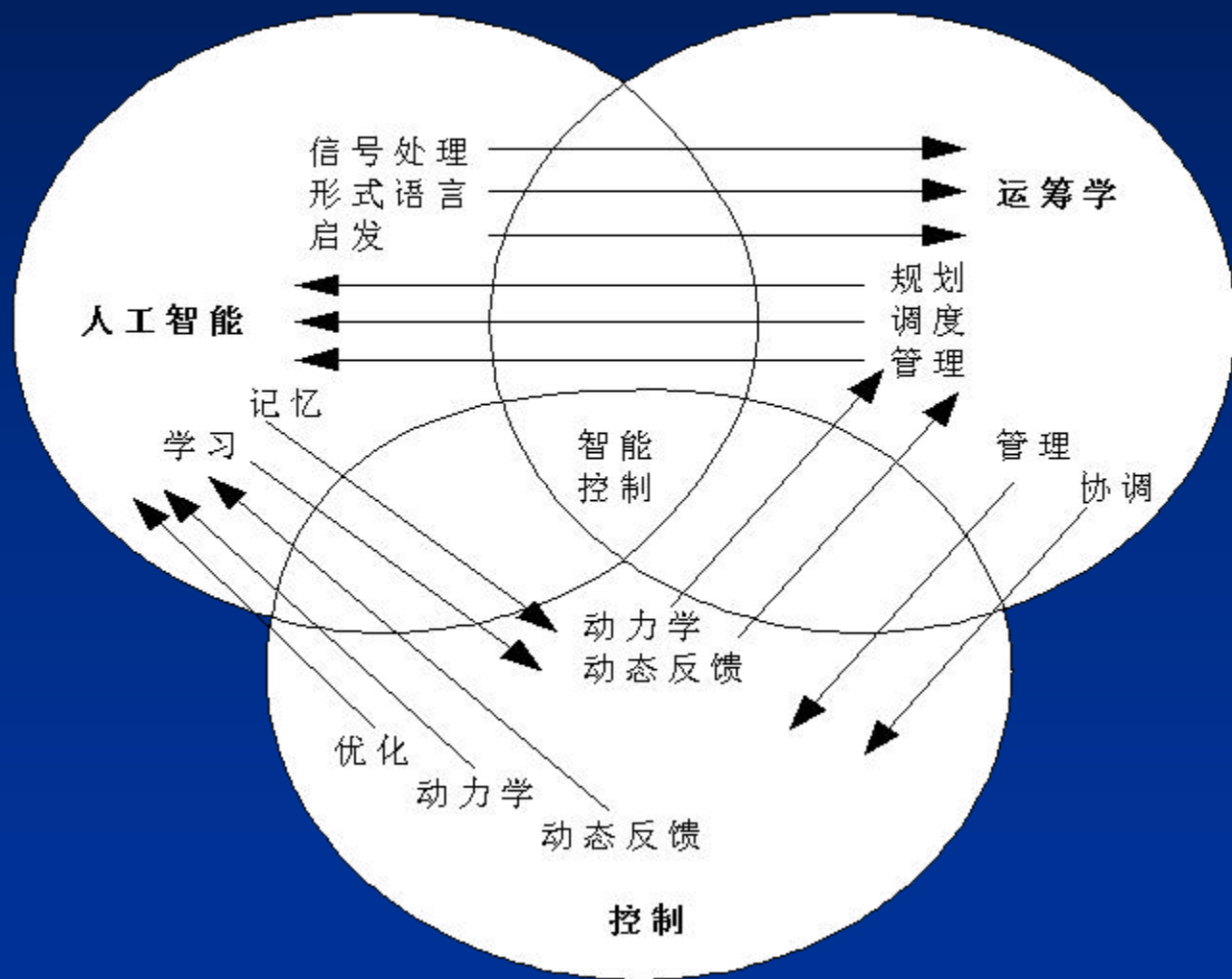
式中各子集的含义为


**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)**






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。

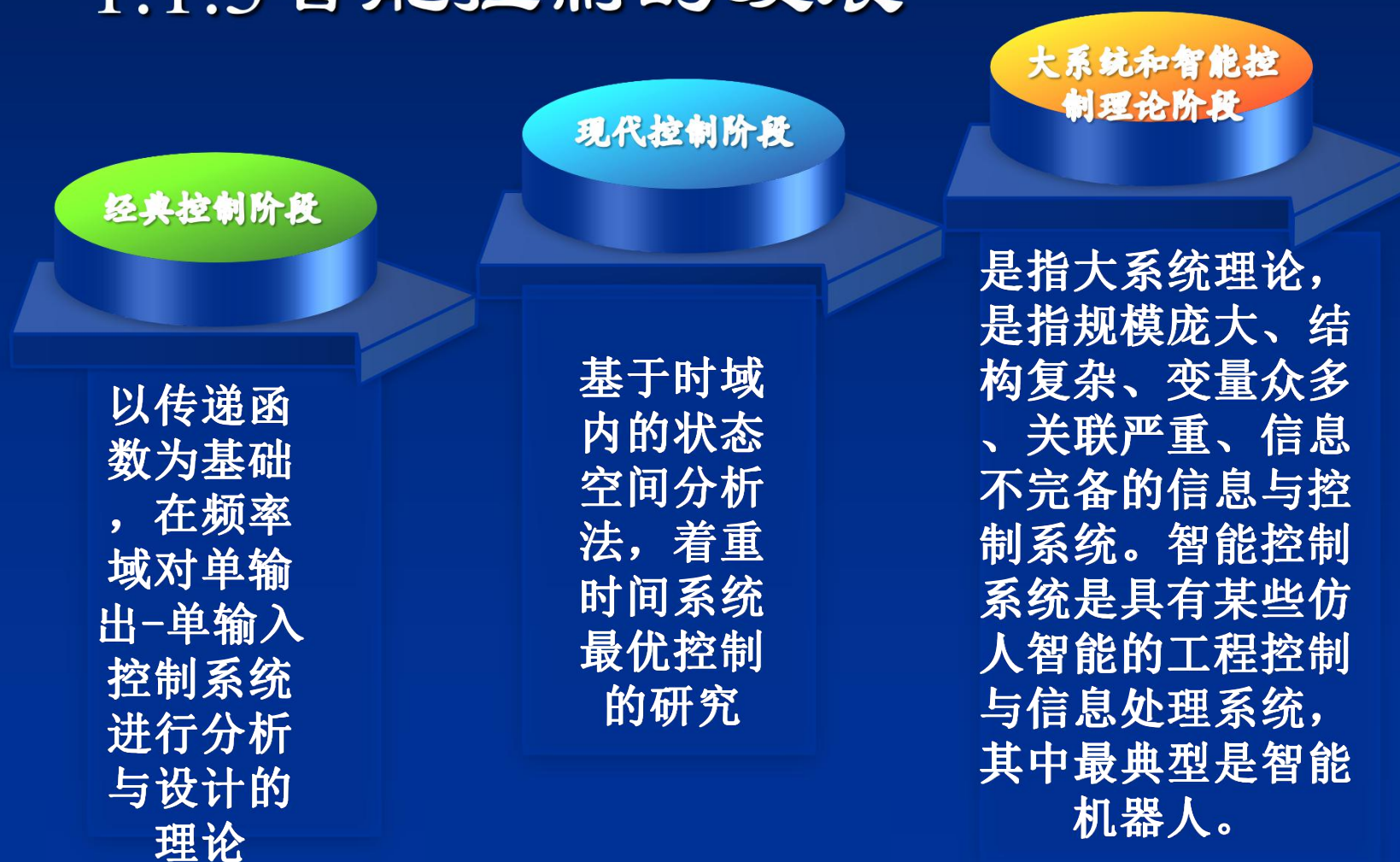
运筹学（OR）是一种定量优化方法，如线性规划、网络规划、调度、管理、优化决策和多目标优化方法等。



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任务。

## 1.1.3 智能控制的发展



# 经典控制理论（20世纪50年代末期以前）

**特点：**是以输入输出特性（主要是传递函数）为系统数学模型，采用频率响应法和根轨迹法这些图解分析方法，分析系统性能和设计控制装置

**研究对象：**是单输入单输出的自动控制系统，特别是线性定常系统

**控制思路：**基于频率域内传递函数的“反馈”和“前馈”控制思想，运用频率特性分析法、根轨迹分析法、描述函数法、相平面法、波波夫法，解决稳定性问题

**发展：**1681年法国物理学家、发明家巴本发明了用作安全调节装置的锅炉压力调节器；1765年俄国人普尔佐诺夫发明了蒸汽锅炉水位调节器。

1788年，英国人瓦特在他发明的蒸汽机上使用了离心调速器。1932年美国物理学家奈奎斯特提出了频域内研究系统的频率响应法。



# 现代控制理论（20世纪50年代到80年代）

**特点：**是为多输入-多输出系统，系统可以是线性或非线性，定常或时变的，单变量与多变量，连续与离散系统

**研究对象：**线性系统和非线性系统，定常系统和时变系统，单变量系统和多变量系统

**控制思路：**基于时域法为主，通过大系统的多级递阶控制、分解-协调原理、分散最优控制、大系统模型降解理论，解决大系统的最优化

**理论发展：**智能控制（Intelligent Control）、非线性控制（Nonlinear Control）、自适应控制（Adaptive Control）、鲁棒控制（Robust Control）、模糊控制（Fuzzy Control）、神经网络控制（Neural Network Control）、实时专家控制、定性控制、预测控制、分布式控制系统



# 大系统理论和智能控制理论 (20

世纪80年代至今)

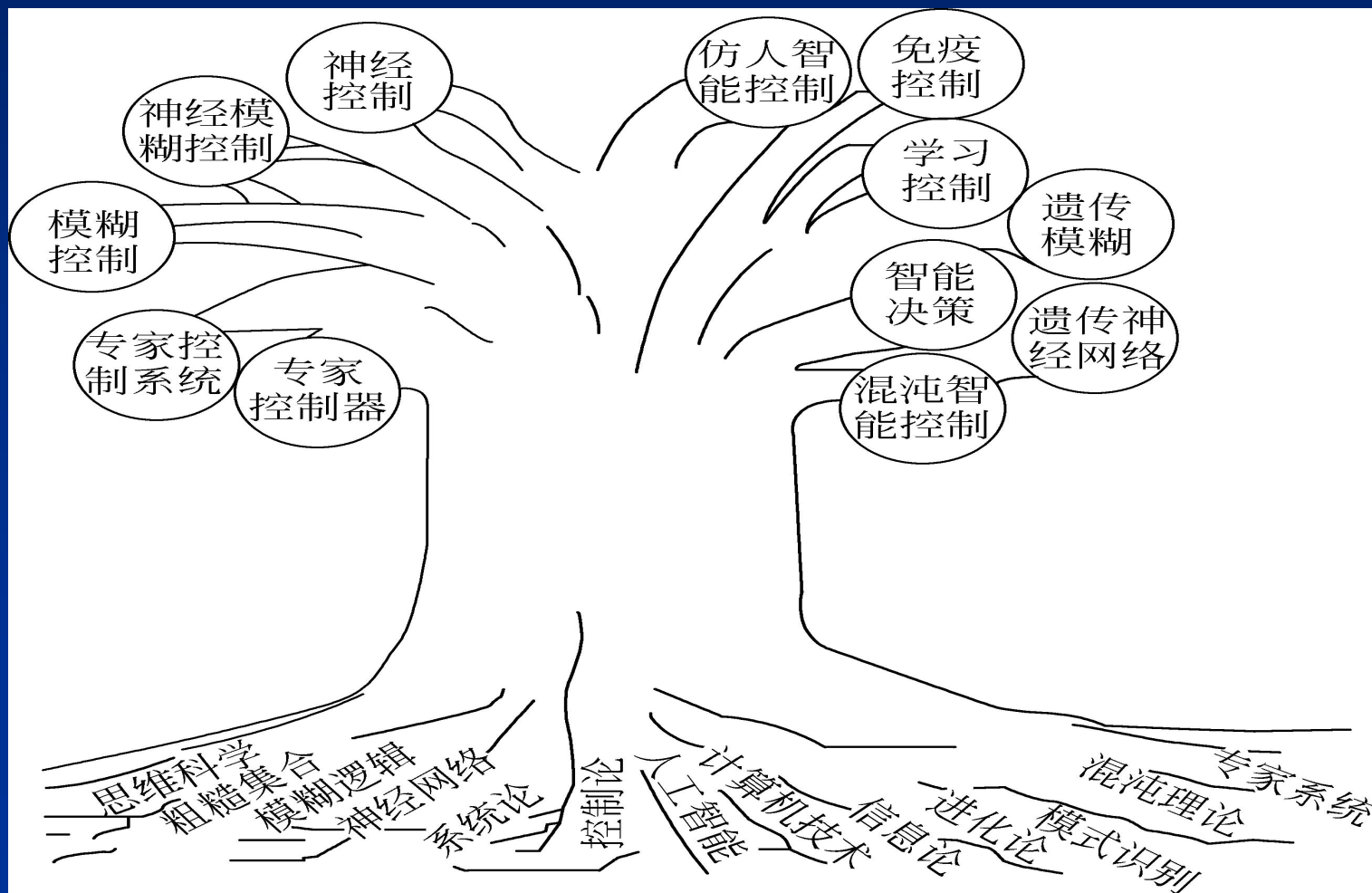
**理论发展:** 60年代初期, **Smith**提出采用性能模式识别器来学习最优控制法以解决复杂系统的控制问题。

**特点:** 是指众多因素复杂的控制系统, 如宏观经济系统、资源分配系统、生态和环境系统、能源系统等。

**研究对象:** 线性系统和非线性系统, 定常系统和时变系统, 单变量系统和多变量系统。**控制思路:** 基于时域为主, 通过大系统的多级递阶控制, 分解-协调原理、分散最优控制的大系统模型降解理论, 解决大系统的最优化。

**1965年Zadeh**创立模糊集合论, 为解决负载系统的控制问题提供了强有力的数学工。**1966年, Mendel**提出了“人工智能控制”的概念。**1967年, Leondes和Mendel**正式使用“智能控制”, 标志着智能控制思路已经形成。**70年代初期**, 傅京逊、**Gloriso和Saridis**提出分级递阶智能控制, 并成功应用于核反应、城市交通控制领域。**80年代以来**专家系统、神经网络理论及应用对智能控制器的促进作用随着生产技术的不断提

的高度挺进。



**1971**年著名学者**K.S.Fu**（傅京逊）从发展学习控制的角度首次提出智能控制这一新兴学科

**1977**年**Saridis**述了从通常的反馈控制到最优控制、随机控制，再到自适应控制、自学习控制、自组织控制，并最终向智能控制发展的过程

**1983**年**K.J. Astrom**将专家系统技术引入控制系统

**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

# 自动控制的几种方法

1

开环控制

2

确定性反馈控制

3

最优控制

4

随机控制

5

自适应控制 鲁棒控制

6

自学习控制

7

智能控制

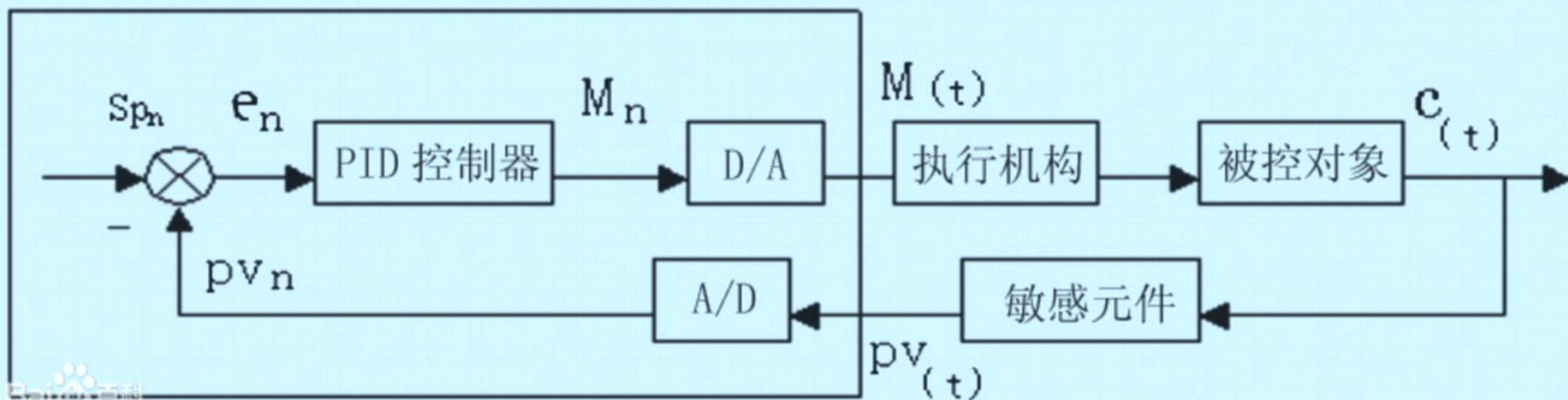


# 开环控制

系统的控制输入不受输出影响的控制系统。在开环控制系统中，不存在由输出端到输入端的反馈通道，又称无反馈控制系统。开环系统的结构简单，控制精度和抑制干扰的性能差，对系统参数的变动很敏感。一般仅用于不考虑外界影响，或惯性小，或精度要求不高的一些场合，如步进电机的控制，简易电炉炉温调节，水位调节等

# 闭环控制

指作为被控的输出以一定方式返回到作为控制的输出端，并对输入端施加控制影响的一种控制关系。具有抑制任何内、外扰动对被控量产生影响的印象，有较高的控制精度，结构复杂。



随机控制：试探控制，是最原始的控制方式，  
是其他一切控制方式的基础。随机控制是完全建立在偶然机遇的基础上，是“试试看”  
思想在控制活动中的体现。  
具有很大的风险性

# 自适应控制、鲁棒控制

**自适应控制：** 是一种对系统参数的变化具有适应能力的控制方法。在一些系统中，系统的参数具有较大的不确定性，并可能在系统运行期间发生较大改变

**鲁棒控制：** 设计一个固定的控制器，使具有不确定性的对象满足控制品质，也就是鲁棒控制

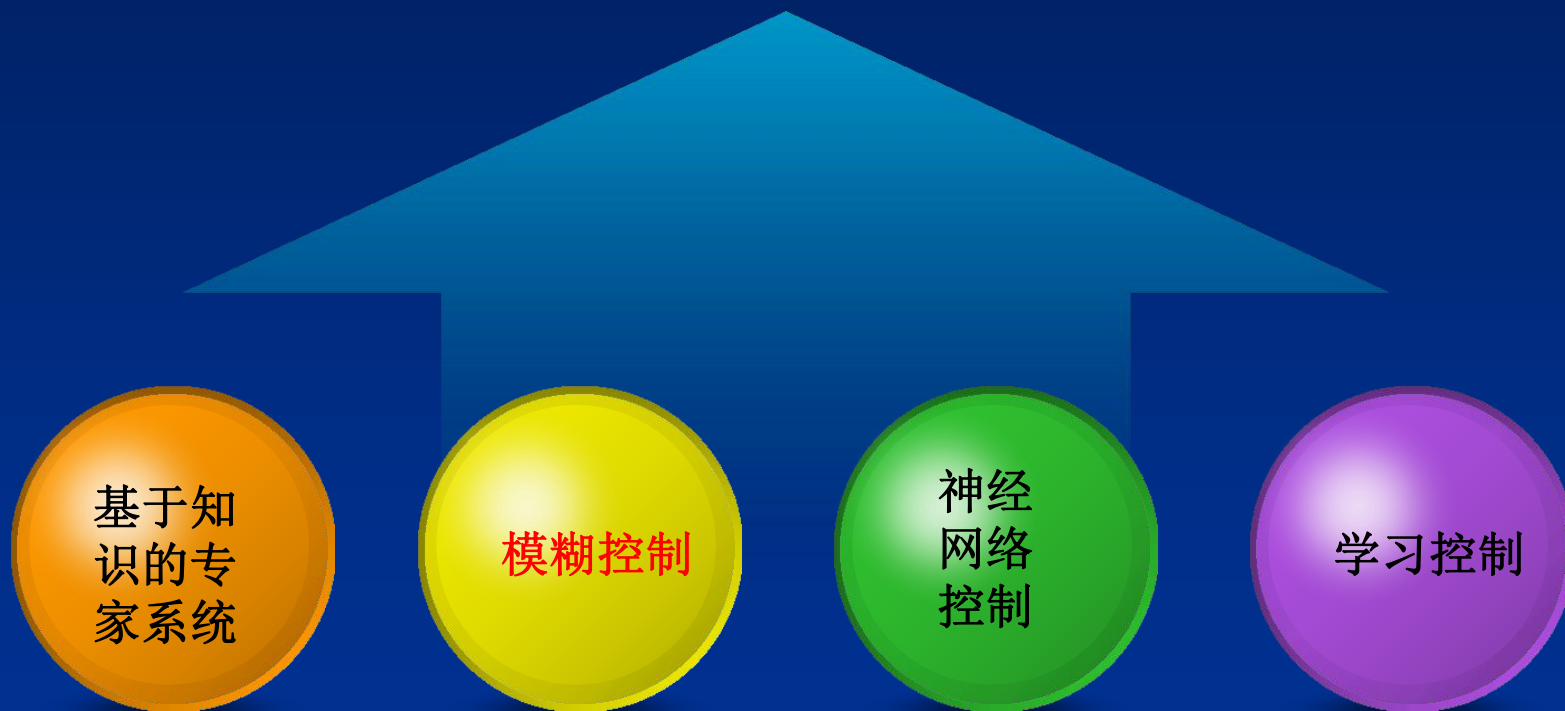
**区别：** 鲁棒控制是采用过大的控制量来保证受控对象的状态向收敛方向移动。其优点是，只要参数的改变程度处于控制器的设计范围内，系统就能保持稳定。二缺点在于，过大的控制量会导致系统发生“抖动”。而自适应控制则是通过逐步逼近系统特性来保证跟踪精度，其缺点是，在开始阶段不一定能保证稳定，而且往往需要运行一段时间才能实现精确跟踪输入量，其优点是在正常运行时系统可以比较平稳地实现精确跟踪



# 自学习控制

**自学习控制：**靠自身的学习功能来认识控制对象和外界环境的特性，并相应地改变自身特性以改善控制性能的系统。这种系统具有一定的识别、判断、记忆和自行调整的能力

## 1.2 智能控制的主要分支

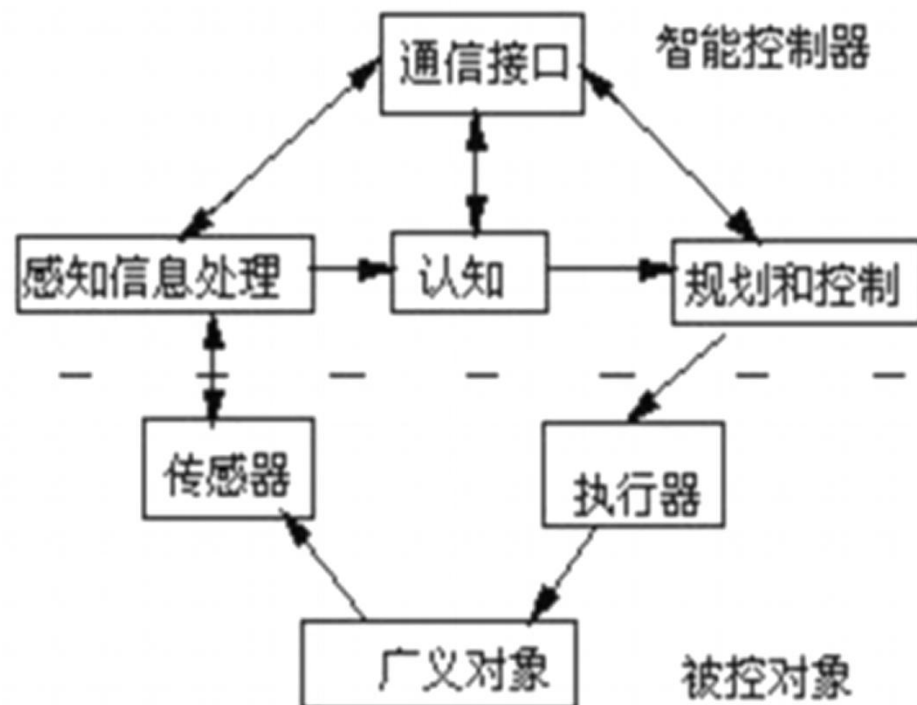


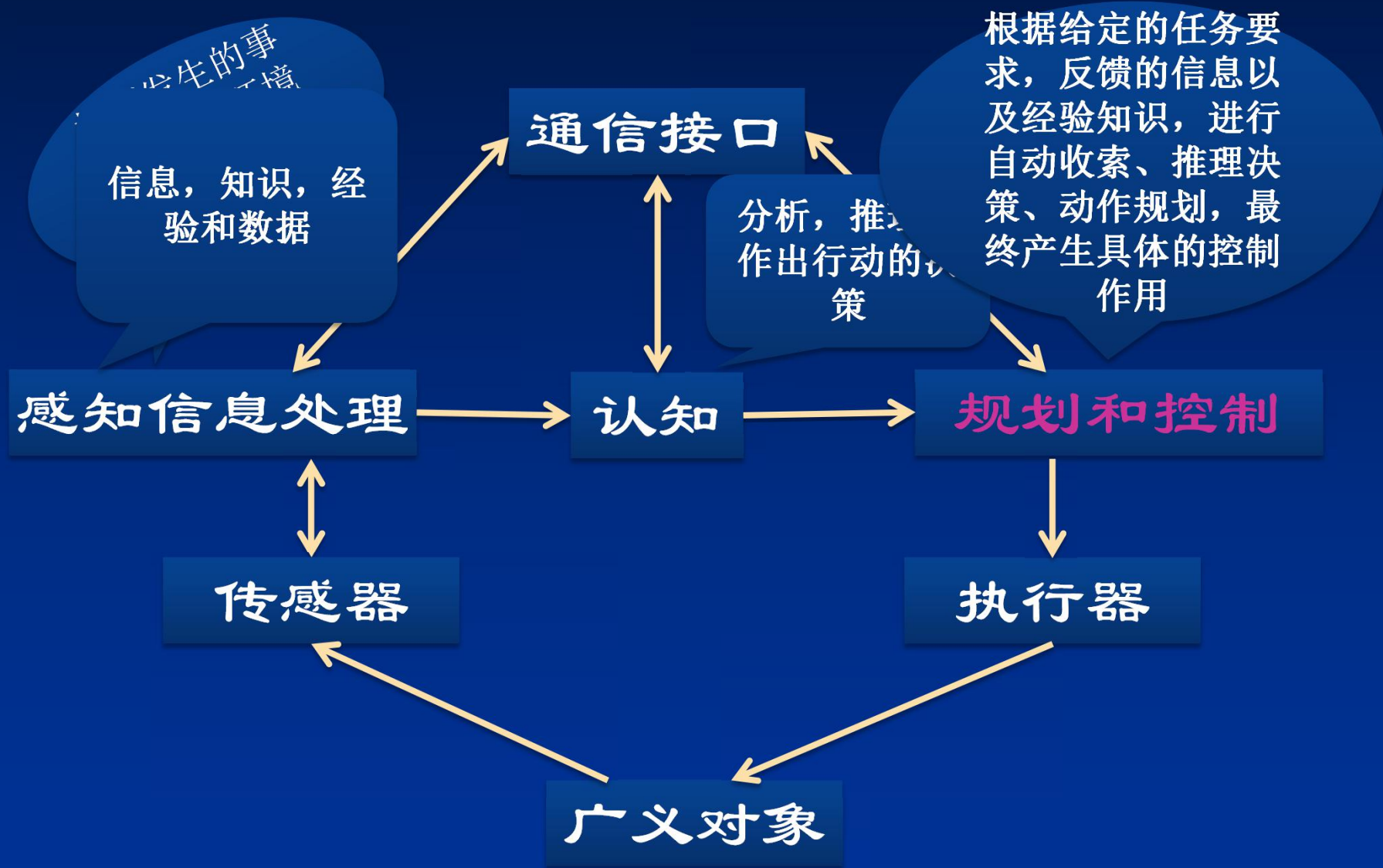
# 1.3 智能控制的特点

## 1.3.1 智能控制系统结构

**智能控制系统：**是实现某种控制任务的一种智能系统。

**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，这样的系统就称为智能系统。





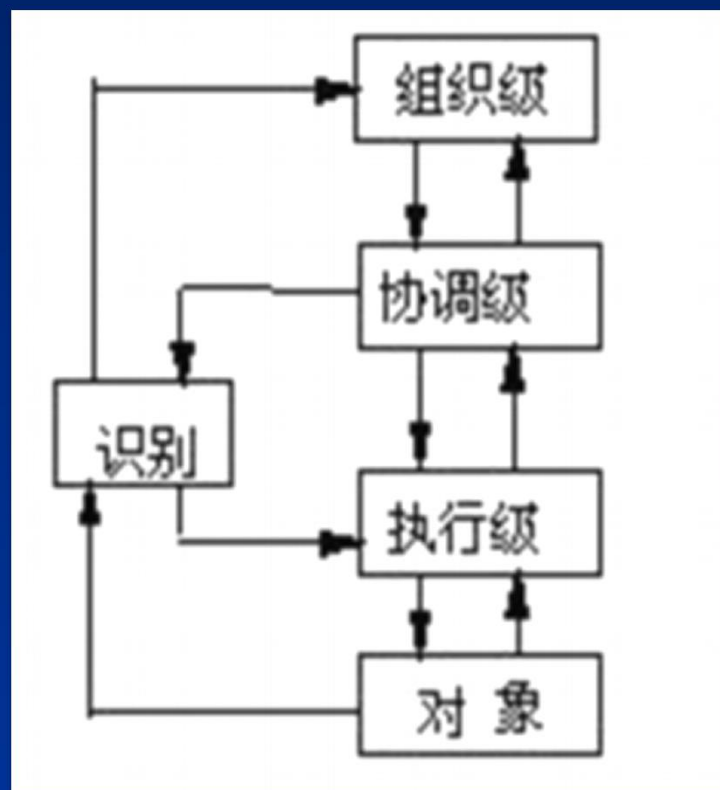


原理：首先对于一个控制系统，我们要深入的了解系统，熟悉控制对象和外部环境特性，也就是我们所说的“**广义对象**”，被控对象的；知道被控对象的物理量、系统自身的特征、外部环境的特征等等。“**传感器**”通过对被控对象外部环境和系统本身的检测，向“**感知信息处理**”单元提供输入。“**感知信息处理**”单元将“**传感器**”得到的原始信息加以处理，综合观测值与期望值之间的异同，以检测发生的事件，识别环境的特征、对象和关系。“**认知**”接收和存储“**感知信息处理**”传递的信息、知识、经验和数据，并对它们进行分析、推理，作出行动的决策，送至“**规划和控制**”部分。“**规划和控制**”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给我们的“**执行机构**”。那么“**执行机构**”就是系统的输出，对外界对象发生作用。一个智能系统可以由许多甚至成千上万个执行器。为了完成给定的目标和任务，他们必须进行协调。执行器有电机、定位器、阀门、电磁线圈、变送器等。



## 1.3.2 分层递阶结构

Saridis从智能控制系统的功能模型模块结构观点出发，提出了分层递阶结构的智能控制系统



**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现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，进行组织决策和规划任务，并直接干预低层的操作

**识别：**对于执行级，识别的功能在于获得不确定的参数值或监督系统参数的变化；对于协调级，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了对于组织级，识别的功能在于翻译定性的命令和其他输入

# 1.3.3智能控制系统的特点

一般具有以知识表示的非数学广义模型和以数学模型表示的混合控制过程。

具有分层信息处理和决策机构。它实际上是对神经结构和专家决策机构的一种 模仿。

具有非线性和变结构特点。

具有多目标优化能力。

能够在复杂环境下学习。

## 1.3.4智能控制系统的功能特点

### 自适应功能（**self-adaptation**）

- 系统的某一部分出现故障时，系统也能正常工作

### 自学习功能（**self-recognition**）

- 一个系统，如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估计、分类、决策或控制，从而使系统的性能得以改善。

### 自组织功能（**self-organization**）

- 智能控制器可以在任务要求的范围内自行决策，主动采取行为；二的那个出现多目标冲突时，个控制器在一定限制条件下自行解决

### 自诊断功能（**self-diagnosis**）

- 系统自身的故障检测能力

### 自修复功能（**self-repairing**）

- 一旦检测到自身部件故障行为，系统将自动启动相关程序替换故障模块，甚至可以通过自身修复程序和模块，实现控制系统在无人干预下的正常恢复能力



# 1.3.5智能控制系统研究的主要数学工具

- 符号推理与数值计算的结合。
  - 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
- 离散事件系统与连续时间系统分析的结合。
  - CIMS（中，上层任务的分配和调度、零件的加工计算机/现代集成制造系统）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（机床和机器人）采用常规的连续时间系统分析方法。
- 模糊集理论。
- 神经网络理论。
- 优化理论。

# 1.3.6 智能控制系统的应用



- 智能机器人控制



- 计算机集成制造系统 (CIMS)



- 工业过程控制



- 航天航空控制



- 社会经济管理系统、



- 交通运输系统



- 环保及能源系统



# 在机器人领域中的应用

智能机器人是目前机器人研究中的热门客体、  
E. H. Mamdan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。

J. S. Albus于1975年提出小脑模型关节控制器（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中的一个典型应用

# 在过程控制中的应用

过程控制指石油、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中有着广泛的应用。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。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的模糊控制系统。