



智能控制基础

西安交大电信学部自动化学院

胡怀中

智能控制概述

智能控制是自动控制发展的一个新阶段，是人工智能、控制论、系统论和信息论等多种学科的综合与集成，是当前一个研究热点。

- 智能控制的基本概念
- 智能控制系统的特点
- 智能控制系统的结构理论
- 智能控制与传统控制的关系
- 智能控制的研究对象
- 智能控制的类型
- 智能控制的发展概述

智能控制的基本概念

智能控制已经出现了相当长的一段时间，并且已取得了初步的应用成果。但是究竟什么是“智能”，什么是“智能控制”等问题，至今仍没有统一的定义。归纳起来，主要有如下四种说法：

智能控制的基本概念

- **智能控制的定义一**：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。

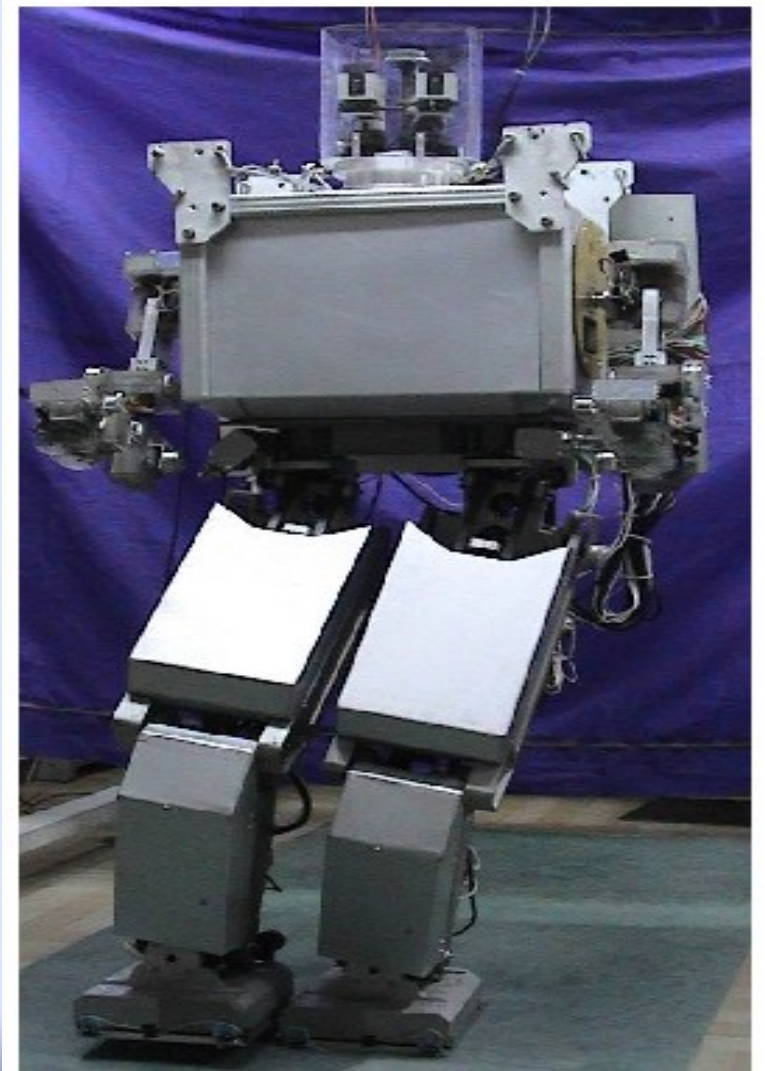


智能控制的基本概念

- **定义二**：K.J. 奥斯特罗姆则认为，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，以期在一定程度上实现控制系统的智能化，这就是智能控制。他还认为自调节控制、自适应控制就是智能控制的低级体现。

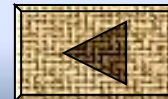
智能控制的基本概念

- **定义三**：智能控制是一类无需人的干预就能够自主地驱动智能机器实现其目标的自动控制，也是用计算机模拟人类智能的一个重要领域。



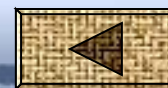
智能控制的基本概念

- **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系统的一个新兴分支学科。



智能控制的特点

- 智能控制器具有非线性特性；
- 智能控制具有变结构特点；
- 智能控制器具有总体自寻优特性；
- 智能控制系统应能满足多样性目标的高性能要求；
- 智能控制是一门边缘交叉学科；
- 智能控制是一个新兴的研究领域。



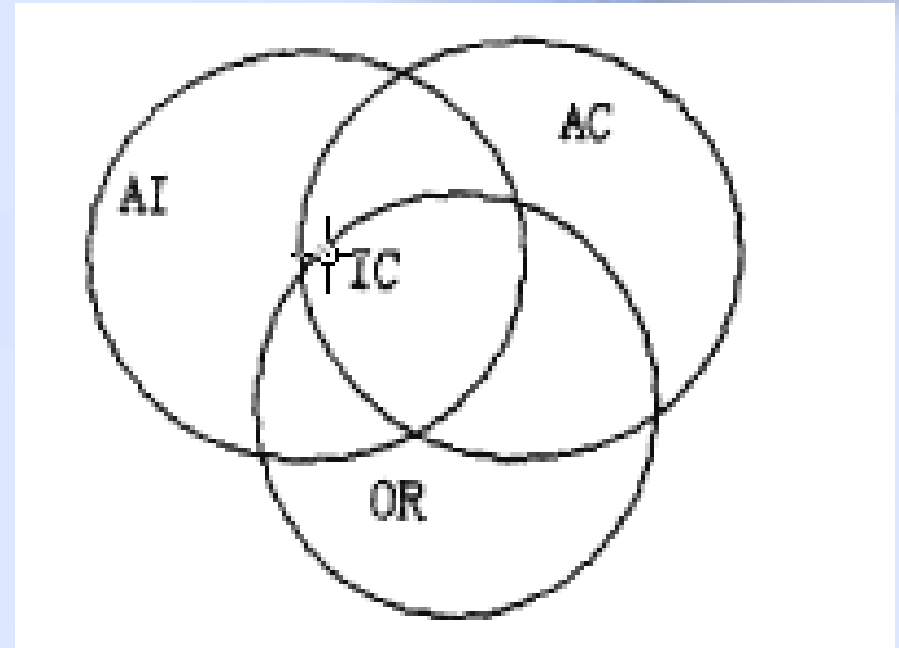
智能控制的结构理论

智能控制的理论结构明显地具有多学科交叉的特点，许多研究人员试图建立起智能控制这一新学科，他们提出了一些有关智能控制系统结构的思想。按照傅京孙和 Saridis 提出的观点，可以把智能控制看作是**人工智能**、**自动控制**和**运筹学**三个主要学科相结合的产物。称之为**三元结构**。

智能控制的结构理论

$IC = AI \cap AC \cap OR$

- IC – 智能控制
(Intelligent Control);
- OR – 运筹学
(Operation Research)
- AI – 人工智能
(Artificial Intelligence);
- AC – 自动控制
(Automatic Control);
- n – 表示交集 .



智能控制的结构理论

- **人工智能** (AI) : 是一个知识处理系统，具有记忆、学习、信息处理、形式语言、启发式推理等功能。
- **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。

智能控制的结构理论

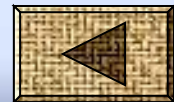
智能控制就是应用人工智能的理论
与技术和运筹学的优化方法，并将其同
控制理论方法与技术相结合，在未知环
境下，仿效人的智能，实现对系统的控
制。

可见，智能控制代表着自动控制学
科发展的最新进程。

智能控制与传统控制的关系

传统控制（ Conventional control ）：经典反馈控制和现代控制理论。它们的主要特征是**基于精确的系统数学模型**的控制。适于解决线性、时不变等相对简单的控制问题。

智能控制（ Intelligent control ）以上问题用智能的方法同样可以解决。智能控制是对传统控制理论的发展，传统控制是智能控制的一个组成部分，在这个意义下，两者可以统一在智能控制的框架下。



智能控制的研究对象

智能控制主要应用在以下情况：

- 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，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比较苛刻的线性化假设，而这些假设在应用中往往与实际情况不相吻合。

智能控制的研究对象

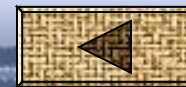
- 对于某些复杂的和饱含不确定性的控制过程，根本无法用传统数学模型来表示，即无法解决建模问题。
- 为了提高控制性能，传统控制系统可能变得很复杂，从而增加了设备的投资，减低了系统的可靠性。



智能控制的类型

智能控制系统一般包括

- 分级递阶控制系统
- 专家控制系统
- 神经控制系统
- 模糊控制系统
- 学习控制系统
- 集成或者（复合）混合控制：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。

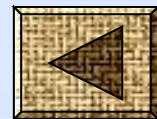


分级递阶控制系统

分级递阶智能控制是在自适应控制和自组织控制基础上，由美国普渡大学 Saridis 提出的智能控制理论。分级递阶智能控制 (Hierarchical Intelligent Control) 主要由三个控制级组成，按智能控制的高低分为组织级、协调级、执行级，并且这三级遵循“伴随智能递降精度递增”原则。

分级递阶控制系统

- **组织级 (organization level) :** 组织级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) :** 协调级位于中间层 , 主要任务是协调组织级和执行级之间的工作。
- **执行级 (executive level) :** 执行级的控制过程通常是执行一个确定的动作。



分级递阶控制系统

- **组织级**：是分级递阶控制系统的最高层，负责制定系统的总体目标、战略和计划。它根据系统所面临的任务和外部环境的信息，进行宏观决策，确定系统的长期发展方向和目标，并将这些目标分解为具体的子任务，分配给下一级的协调级。组织级需要具备很强的决策能力、规划能力和对全局的把控能力，通常涉及对大量复杂信息的分析和判断。

分级递阶控制系统

- **协调级**：处于中间层，主要任务是协调组织级和执行级之间的工作。一方面，它接收组织级下达的任务和目标，并将其进一步细化和分解为可执行的操作指令，传达给执行级；另一方面，它收集执行级反馈的信息，如任务执行的进度、遇到的问题等，进行分析和处理，及时向组织级汇报，并根据需要对执行级的工作进行调整和协调，以确保整个系统的运行能够符合组织级设定的目标。协调级需要具备良好的沟通能力、协调能力和一定的分析判断能力。

分级递阶控制系统

- **执行级**：是分级递阶控制系统的最底层，负责具体执行协调级下达的操作指令，直接控制和操作物理设备或完成具体的工作任务。执行级需要准确、快速地执行指令，对实际的生产过程、操作过程等进行精确控制，并实时反馈执行情况和相关数据给协调级。执行级通常要求具有较高的专业技能和操作能力，以及对具体任务的高度专注和责任心。

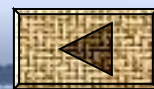
分级递阶控制系统

- **工业生产中的分级递阶控制（示例）**：在汽车制造工厂中，工厂的高层管理团队属于组织级，他们根据市场需求和公司战略，制定年度生产计划，确定生产的汽车型号、数量和生产进度等总体目标。生产调度部门是协调级，他们将总体生产计划细化为每周、每日的生产任务，安排各个生产线的生产顺序和时间，协调原材料采购、零部件供应、设备维护等各个环节，确保生产过程的顺利进行。而生产线的工人和机器人则是执行级，他们按照生产调度部门的指令，进行汽车零部件的组装、焊接、涂装等具体操作，完成汽车的生产制造任务，并将生产过程中的质量问题、设备故障等信息及时反馈给生产调度部门。

专家控制系统 (Expert System)

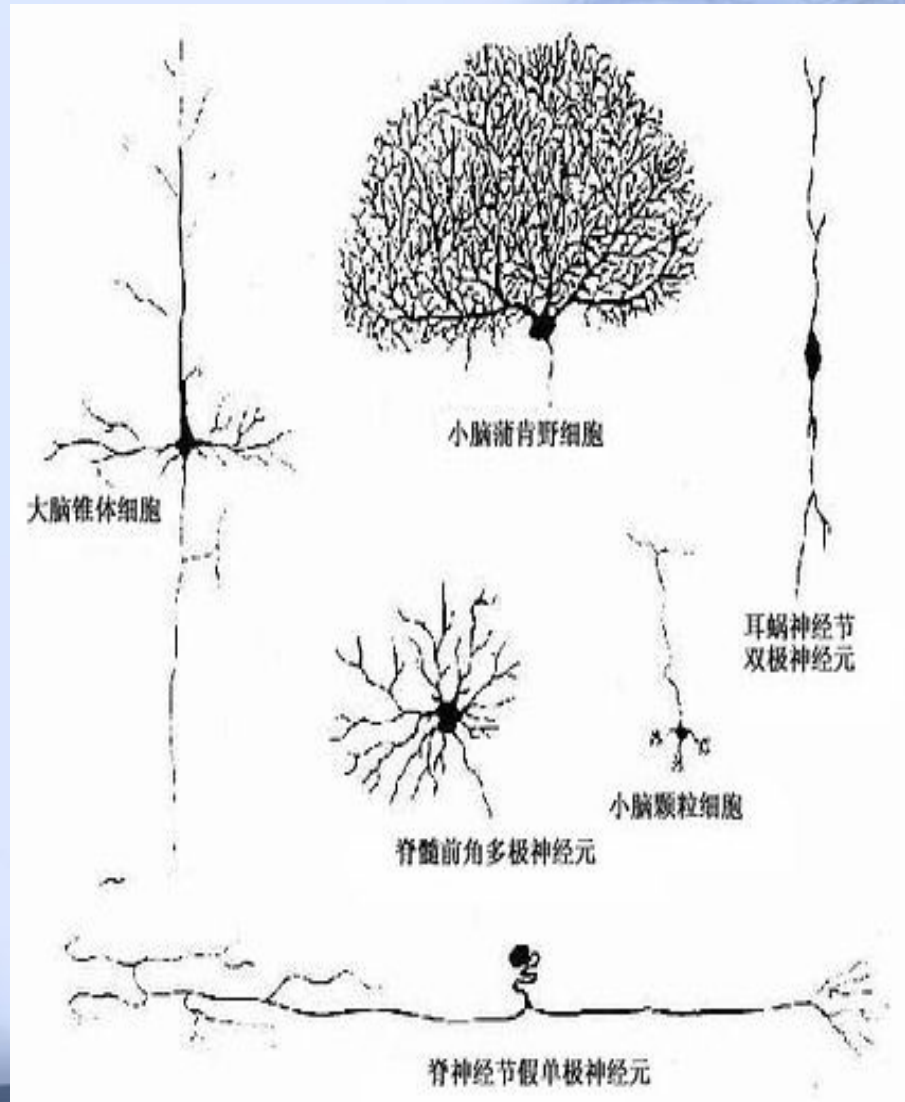
专家指的是那些对解决专门问题非常熟悉的人们，他们的这种专门技术通常源于丰富的经验，以及他们处理问题的详细专业知识。

专家系统主要指的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。它具有启发性、透明性、灵活性、符号操作、不确定性推理等特点。应用专家系统的概念和技术，模拟人类专家的控制知识与经验而建造的控制系统，称为专家控制系统。



人工神经网络控制系统

神经网络是指由大量与生物神经系统的神经细胞相类似的人工神经元互连而组成的网络；或由大量象生物神经元的处理单元并联互连而成。这种神经网络具有某些智能和仿人控制功能。



人工神经网络控制系统

学习算法是神经网络的主要特征，也是当前研究的主要课题。学习的概念来自生物模型，它是机体在复杂多变的环境中进行有效的自我调节。神经网络具备类似人类的学习功能。

模糊控制系统

所谓模糊控制，就是在被控制对象的模糊模型的基础上，运用模糊控制器近似推理手段，实现系统控制的一种方法。

模糊模型是用模糊语言和规则描述的一个系统的动态特性及性能指标。

学习控制系统

学习是人类的主要智能之一，人类的各项活动也需要学习。在学习过程中，学习起着十分重要的作用。学习控制是一种通过重复输入对系统进行校正的系统，它具有特定响应。学习控制在运行过程中逐步积累经验，并进行估值、分类、决策和不断改善。学习控制是模态学习控制的一种，是人类特有的非预定的自动控制。



智能控制的发展历史

自动控制理论是人类在征服自然、改造自然的斗争中形成和发展的。控制理论从形成发展至今，已经经历多年的历程，分为三个阶段。第一阶段是以上世纪 40 年代兴起的调节原理为标志，称为经典控制理论阶段；第二阶段以 60 年代兴起的状态空间法为标志，称为现代控制理论阶段；第三阶段则是 80 年代兴起的智能控制理论阶段。

智能控制的发展历史

傅京孙在 1971 年指出，为了解决智能控制的问题，用严格的数学方法研究发展新的工具，对复杂的“环境 - 对象”进行建模和识别，以实现最优控制，或者用人工智能的启发式思想建立对不能精确定义的环境和任务的控制设计方法。这两者都值得一试，而更重要的也许还是把这两种途径紧密地结合起来，协调地进行研究。也就是说，对于复杂的环境和复杂的任务，如何，**将人工智能技术中较少依赖模型的问题的求解方法与常规的控制方法相结合**，这正是智能控制所要解决的问题。

智能控制的发展历史

Saridis 在学习控制系统研究的基础上，提出了分级递阶和智能控制结构，整个结构自上而下分为组织级、协调级和执行级三个层次，其中执行级是面向设备参数的基础自动化级，在这一级不存在结构性的不确定性，可以用常规控制理论的方法设计。协调级实际上是一个离散事件动态系统，主要运用运筹学的方法研究。组织级涉及感知环境和追求目标的高层决策等，类似于人类智能的功能，可以借鉴人工智能的方法来研究。因此，Saridis 将傅京孙关于智能控制是人工智能与自动控制相结合的说法发展为：**智能控制是人工智能、运筹学和控制系统理论三者的结合。**

智能控制的发展历史

1985年8月，在美国纽约召开了第一届智能控制学术讨论会，智能控制原理和智能控制系统的结构这一提法成为这次会议的主要议题。这次会议决定，在IEEE控制系统学会下设立一个IEEE智能控制专业委员会。这标志着智能控制这一新兴学科研究领域的正式诞生。智能控制作为一门独立的学科，已正式在国际上建立起来。智能技术在国内也受到广泛重视，中国自动化学会等于1993年8月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8月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会议，1997年6月在西安召开了第二届全球华人智能控制与智能自动化大会。

智能控制的发展历史

近年来，智能控制技术在国内外已有了较大的发展，已进入工程化、实用化的阶段。但作为一门新兴的理论技术，它还处在一个发展时期。然而，随着人工智能技术、计算机技术的迅速发展，智能控制必将迎来它的发展新时期。

课程总目标

学完本课程后，你应具有以下能力：

- **掌握智能控制的基本概念；**
- **了解智能控制的基本理论，掌握智能控制的基本技术；**
- **学会智能控制算法和系统的设计方法**
 - **掌握模糊控制器的组成、工作原理和设计方法；**
 - **熟悉和会编写模糊控制系统仿真或应用程序；**
 - **掌握神经网络的基本概念、神经网络控制器的工作原理和设计方法；**
 - **熟悉和会编写神经网络控制系统仿真或应用程序；**
 - **掌握遗传算法的基本概念、工作原理和设计方法；**