第4卷第3期　　空 军 工 程 大 学 学 报(自然科学版)　　Vol.4 No.3
2003年6月　　JOURNAL OF AIR FORCE ENGINEERING UNIVERSITY(NATURAL SCIENCE EDITION)　　Jun.2003

智能控制理论及发展

李　刚，　刘兴堂，　徐安民
(空军工程大学 导弹学院，陕西 三原　713800)

摘　要:介绍了智能控制的概念、性能及特点,讨论了智能控制的结构,给出了智能控制系统的类型。最后总结了智能控制发展的概况。

关键词:智能控制;信息;反馈;决策
中图分类号:TP18　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1009-3516(2003)03-0075-04

智能控制是近年来控制界新兴的研究领域,是一门边缘交叉学科。智能控制所研究的被控系统具有高度复杂性和高度不确定性。与传统控制相比,智能控制的主要核心在高层控制部分,强调智能决策和规划。智能控制理论目前仍处于发展阶段,需要进一步探索与开发。

1　智能控制的概念

智能控制的概念主要是针对被控系统的高度复杂性、高度不确定性及人们要求越来越高的控制性能提出来的。正如其它前沿学科一样,智能控制至今尚无一个公认的统一定义。对智能控制概念而言,主要有以下提法。

1.1　智能控制二元交集论

傅京孙(K.S.Fu)于1971年提出智能控制二元交集论。他把智能控制概括为自动控制与人工智能的交集[1]。可用图1和式(1)表示。

$$IC = AC \cap AI \tag{1}$$

式中　IC——智能控制(intelligent control)
　　AC——自动控制(automatic control)
　　AI——人工智能(artificial intelligence)

他主要强调的是人工智能中"仿人"的概念与自动控制的结合。

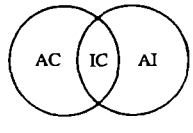

图1　智能控制二元交集论

1.2　智能控制三元交集论

Saridis等人于1977年提出了智能控制三元交集论。即认为智能控制是人工智能、自动控制和运筹学的交集。可用图2和式(2)表示。

$$IC = AC \cap AI \cap OR \tag{2}$$

式(2)中OR表示运筹学(operation research)。由图2可以看出,在三元交集论中除"智能"与"控制"之外,还强调了更高层次控制中调度、规划和管理的作用。

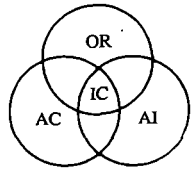

图2　智能控制三元交集论

1.3　智能控制四元交集论

近年来蔡自兴提出了智能控制四元交集论[2],即认为智能控制是人工智能、自动控制、信息论及运筹学的交集。可用图3和式(3)表示。

$$IC = AC \cap AI \cap OR \cap IN \tag{3}$$

收稿日期:2003-03-11
作者简介:李　刚(1963-),男,安徽淮南人,副教授,博士,主要从事导航制导与控制研究;
刘兴堂(1942-),男,陕西三原人,博士生导师,主要从事飞行器控制、制导与仿真研究.

式(3)中,IN 表示信息论(information theory or informatics)。

由以上理论可以看出,智能控制是一类无需(或仅需尽可能少的)人的干预就能够独立的驱动智能机器实现其目标的自动控制。

尽管智能控制的定义可以有多种不同的描述,但从工程控制角度看,它的三个基本要素是:智能信息、智能反馈、智能决策[3]。从集合论的观点,可以把智能控制和它的三要素关系表示如下:

[智能信息]∩[智能反馈]∩[智能决策]⊆智能控制

可见,相对于基于精确模型的常规控制,智能控制主要核心在智能决策部分。如果说自动控制使人们从繁重的体力劳动中解放出来的话,那么,智能控制则试图将人们从复杂的脑力劳动中解放出来。

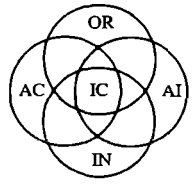

图 3 智能控制四元交集论

2 智能控制的性能和特点

2.1 智能控制的性能

智能控制主要用来解决传统控制难以解决的复杂系统的控制问题。根据智能控制的基本控制对象的开放型,复杂性,不确定性的特点,一个理想的智能控制系统应具有如下性能。

1)学习能力 。系统对一个未知环境提供的信息进行识别、记忆、学习,并利用积累的经验进一步改善自身性能的能力,即在经历某种变化后,变化后的系统性能应优于变化前的系统性能,这种功能类似于人的学习过程。

2)适应功能 。系统应具有适应受控对象动力学特性变化、环境变化和运行条件变化的能力。这种智能行为实质上是一种从输入到输出之间的映射关系,可看成是不依赖模型的自适应估计,较传统的自适应控制中的适应功能具有更广泛的意义。除此之外,系统还应具有容错性和鲁棒性。

3)组织功能 。对于复杂任务和分散的传感信息具有自组织和协调功能,使系统具有主动性和灵活性。即智能控制器可以在任务要求的范围内自行决策,主动采取行动。当出现多目标冲突时,在一定限制下,各控制器可在一定范围内自行解决,使系统能满足多目标、高标准的要求。

除以上功能外,智能控制系统还应具有相当的在线实时响应能力和友好的人 - 机界面,以保证人 - 机互助和人 - 机协同工作。

2.2 智能控制的特点

1)智能控制具有混合控制特点。智能控制是同时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,也往往是那些含有复杂性、不完全性、模糊性或不确定性以及不存在已知算法的非数值过程,并以知识进行推理,以启发来引导求解过程。

2)智能控制的核心在高层控制,即组织级。高层控制的任务在于对实际环境或过程进行组织,即决策和规划,实现广义问题求解。这些问题的求解过程与人脑的思维过程具有一定的相似性,即具有不同程度的“智能”。

3)智能控制是一门边缘交叉学科。智能控制涉及许多的相关学科。智能控制的发展需要各相关学科的配合与支援。智能控制也是目前自动控制发展的最前沿阶段。

4)智能控制是一个新兴的研究领域。无论在理论上还是实践上,智能控制都还很不成熟、很不完善,需要进一步探索与开发。

3 智能控制的结构

3.1 智能控制的一般结构

智能控制系统是实现某种控制任务的一种智能系统。其一般结构如图 4 所示[4]。

图 4 中,广义对象表示通常意义下的控制对象和所处的外部环境。感知信息处理部分将传感器递送的分级的和不完全的信息加以处理,并要在学习过程中不断加以辨识、整理和更新,以获得有用的信息。认知部分主要接受和存储知识、经验和数据,并对它们进行分析推理,做出行动的决策并送至规划和控制部分。

规划和控制部分是整个系统的核心,它根据给定任务的要求、反馈信息及经验知识,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,经常规控制器和执行机构作用于控制对象。

对于不同用途的智能控制系统,以上各部分的形式和功能可能存在较大的差别。

3.2　分级递阶智能控制结构

大型复杂系统通常是指这样一些系统:系统阶次高,其子系统相互关联,系统的评价目标多且目标间又有可能相互冲突等。对于复杂系统,往往采用分级递阶智能控制结构的形式。分级递阶智能控制(hierarchically intelligent control)是在研究早期学习控制系统的基础上,并从工程控制论的角度总结人工智能与自适应、自学习和自组织控制的关系之后而逐渐形成的,也是智能控制的最早理论之一。

递阶控制系统是指系统的各个子系统的控制作用是由按照一定优先级和从属关系安排的决策单元实现的。同级的各决策单元可以同时平行工作并对下级施加作用,它们又要受到上级的干预,子系统可通过上级互相交换信息。

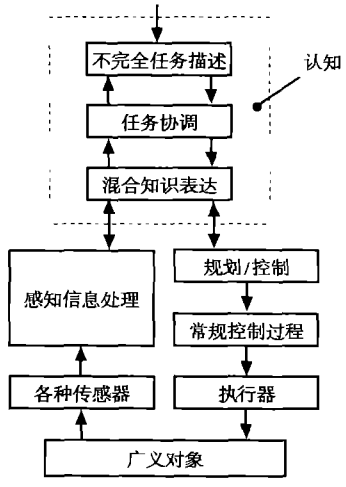

图 4　智能控制系统的一般结构

图 5 是一种多层描述的结构图,这种描述是按系统中决策的复杂性来分级的,所依照的原则是"精度随智能降低而增加(IPDI)"的原则,这是一种含有不确定因素的复杂系统。按控制功能可以分为四个层次:直接控制层、最优化层(确定控制器的设定值)、自适应层(关于模型和控制规律自适应)及自组织层(自动选择模型结构与控制,以适应环境的改变)。

当系统由若干个可分的相互关联的子系统组成时,可按所有决策单元按一定支配关系递阶排列,同一级各单元要受上一级单元的干预,同时又对下一级决策单元施加影响。同一级决策单元如有相互冲突的决策目标,由上一级决策单元加以协调,这是一种多级多目标的结构,如图 6 所示。多级多目标决策单元在不同级间呈递阶排列,形成了金字塔式结构。同级之间不交换信息,上下级间交换信息,上一级负责协调同一级之间的目标冲突,协调的总目标是使全局达到优化或近似优化。

可以看出,所谓多层描述,实际是对一个复杂系统的决策问题纵向分解,按任务复杂程度分成若干子决策层,如图 6 中分成 r 层。而多级描述则考虑到各子系统的关联,将决策问题进行横向分解,如图 6 中分成 n 级。

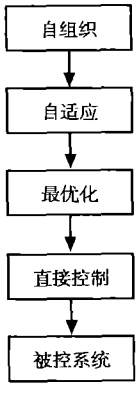

图 5　多层控制结构

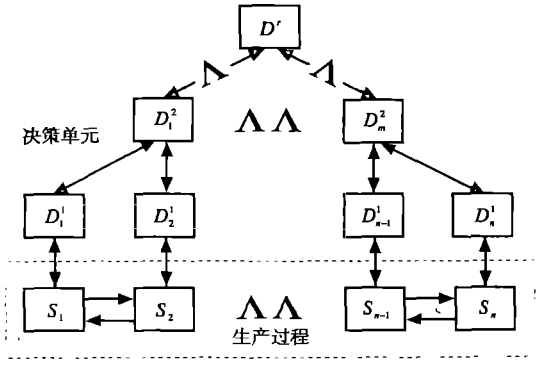

图 6　多级多目标结构

4　智能控制系统的类型

智能控制有各种形式和各种不同的应用领域,至今尚无统一的分类方法。基于智能理论和技术已有的

研究成果,以及当前的智能控制系统的研究现状,可把智能控制系统分为 8 种类型:①分级递阶智能控制系统;②专家控制系统;③模糊控制系统;④神经网络控制系统;⑤基于规则的仿人智能控制系统;⑥学习控制系统;⑦集成智能控制系统;⑧组合智能控制系统。

5 智能控制发展概况

智能控制理论是在人们要求越来越高的控制性能和针对被控系统的高度复杂性、高度不确定性的情况下产生的,并以常规控制为基础进一步发展和提高的。图 7 给出了控制科学的发展过程和通向智能控制路径上控制复杂性增加的过程。由图 7 可见,智能控制处于控制科学的前沿领域,代表着自动控制科学发展的最新进程。

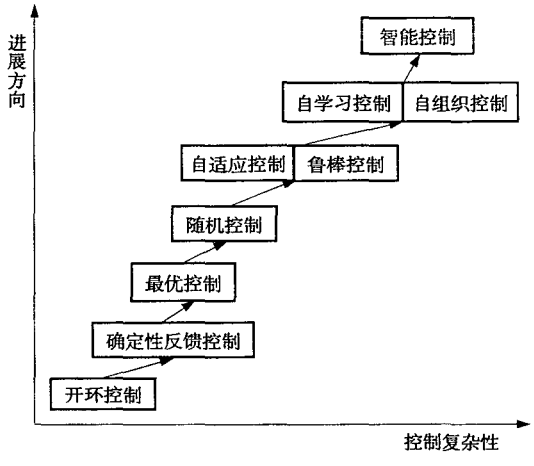

图 7 控制科学发展中的智能控制地位

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。

在我国智能控制也受到广泛的重视。中国自动化学会等学会于 1993 年 8 月、1997 年 6 月和 2000 年 6 月在北京、西安和合肥分别召开了第一届、第二届和第三届全球华人智能控制与智能自动化大会。已成立的学术团体有中国人工智能学会计算机视觉与智能控制学会,中国智能机器人专业委员会和中国自动化学会智能自动化专业委员会等。这些情况表明,智能控制作为一门独立的新学科,也已在我国建立起来了。

综上所述,智能控制理论和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。虽然智能控制理论和技术上不十分成熟,但随着人工智能技术、计算机技术等相关技术的迅速发展,智能控制也将得到更大的发展。

参考文献:

[1] 易继锴,侯媛彬. 智能控制技术[M]. 北京:北京工业大学出版社,1999.
[2] 蔡自兴. 智能控制——基础与应用[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
[3] 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨:哈尔滨出版社,1998.
[4] 李人厚. 智能控制理论和方法[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1999.

(编辑:田新华)

Intelligent Control Theory and It's Development

LI Gang, LIU Xing - tang, XU An - min
(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: In this paper, the concept, capability and characteristic of intelligent control are introduced. The structure of intelligent control is discussed, at the same time the types of intelligent control system are put forward. In the end, the development survey of intelligent control is presented.

Key words: intelligent Control; information; feedback; decision - making