

智能控制与常规控制

罗公亮

(武汉钢铁公司自动化部 武汉 430083)

卢强

(清华大学电机系 北京 100084)

摘 要

智能控制是在常规控制理论与技术基础上的进一步发展与提高,目的是在非结构化、不确定性与控制对象有强相互作用的环境中实现过程任务(追求目标)的闭环自动控制。虽然传统人工智能方法应用于实际控制问题有很大困难,但是把对复杂环境建模的严格数学方法研究同人工智能中新兴学派思想的研究紧密结合起来,有可能导致新的智能控制体系结构的产生和发展。这种研究将会在“自上而下”和“自下而上”两个方向的交汇处取得重大突破。

关键词: 智能控制, 控制系统, 人工智能。

“智能控制”在国内已有许多学者作过介绍并开展了一些研究工作^[1]。但是在有关智能控制的一些基本问题上仍然存在着各种不同的见解。本文试图从控制系统理论的发展和工程应用的要求出发来探讨其中的一些问题。

智能控制中的所谓“智能”,并不等价于人类的智慧,与图灵意义上的机器智能也有区别^[20]。我们认为,只要系统能自动地(即不需要在线的人工干预)实现一定的功能,就可以说它具有了一定程度的智能。整个自动化技术的发展,就是不断地追求提高系统的这种智能,使人的在线干预程度在越来越大的范围内逐渐降低以致消除,或者使这种干预变得更为简便有效,从而提高生产和工作的效率与质量。因此,“智能控制”实际上是对自动控制理论与技术发展到一个新阶段的综合。它的研究内容,就是在常规自动化技术的基础上,进一步提高自动化水平和扩大自动化范围所需要的理论与技术。

1、自动化技术水平现状

工程上实际应用的控制系统大体上都可用图1所示的结构表示。直接控制包括连续量调节和开关量控制两种基本功能。将世界划分为环境与对象,对象再分为 N 个子对象。子对象 $P_i(i=1,2,\dots,N)$ 通常对应于某种人造的设备或器件,与它有关的各种连续量调节回路和开关量的控制,用顺序控制(开环程序控制)协调,构成一个基本控制单元。

N 个基本控制单元 ($N \geq 1$) 组成控制系统的基础自动化级。这一级适用常规控制的理论与技术,自动化的问题可以较好地解决。监控级的作用是感知环境的状况,通过世界模型 (world model)¹⁾ 确定向基础自动化级发出的指令 (连续量调节回路的设定值和顺序控制的逻辑程序),使环境发生预期的变化,从而达到一定的控制目标 (如生产出某种产品、完成一定的作业任务等)。目前这一级在大部分情况下还有赖于不同程度的 (在线或离线)人工干预。以下用三个方面的例子来说明。

1) 机器人控制系统。它包括各个关节的伺服传动系统以及手爪开合和各种联锁保护的开关控制。在结构化的环境中完成确定的作业任务 (例如焊接、喷漆等),可以用开环程序控制,只需要一个基本控制单元。顺序控制程序用示教或离线编程的方法确定。当作业任务或工作环境发生变化时,必须由人来重新进行示教或编程。可见监控级的作用是通过人的离线介入来形成闭环。遥控机器人则是通过人的在线介入来与机器人共同组成一个实时闭环系统。在这些系统里,世界模型和感知的功能均由人来完成。智能机器人的研究,就是企图在监控级构成无须人工介入的闭环控制系统,得到能够在不确定性的环境中完成复杂任务的自主机器人^[2]。

2) 加工自动化系统。持续批量生产固定型号产品的自动化生产线很早就有了 (例如福特汽车生产线),其控制方式在监控级是开环程序控制。由于更改产品设计要涉及加工设备的硬件改造,对市场的应变能力很差。为了克服这个缺点,提出了柔性加工系统 (FMS) 的概念。其基础自动化级由数控机床、工业机器人以及物料输送系统组成。监控级的功能,如物料输送途径选择、工序调度等,在很大程度上仍然需要人的介入。计算机集成制造系统 (CIMS) 的研究,就是企图将这些功能,并进而包括生产计划、库存管理、产品的计算机辅助设计 (CAD) 等集成为一个系统,在包括市场在内的不确定性大环境中实现加工自动化,并具有监控和管理级的总体闭环控制,使人的在线介入降到最低限度^[3]。

3) 过程控制系统。在基础自动化级有各种连续量 (例如温度、压力、流量、转速、张力等) 的闭环调节回路和顺序控制 (例如高炉生产中的上料和称重控制、炉料跟踪、无料钟炉顶控制等)。各种机电、化工、热工等设备是控制对象,而物料及其状况则是系统所面临的环境。控制目标就是通过各种设备联合协调的作用,使环境发生预期的变化,生产出满足一定要求的产品。对于某些结构化的确定性环境中的局部生产过程 (例如热连轧),可以建立“对象-环境”的比较精确的数学模型,以实现监控级的闭环自动控制。而在更多的情况下,例如象冶炼这类复杂的生产过程,无论是用机理法还是用专家系统方法所建立的模

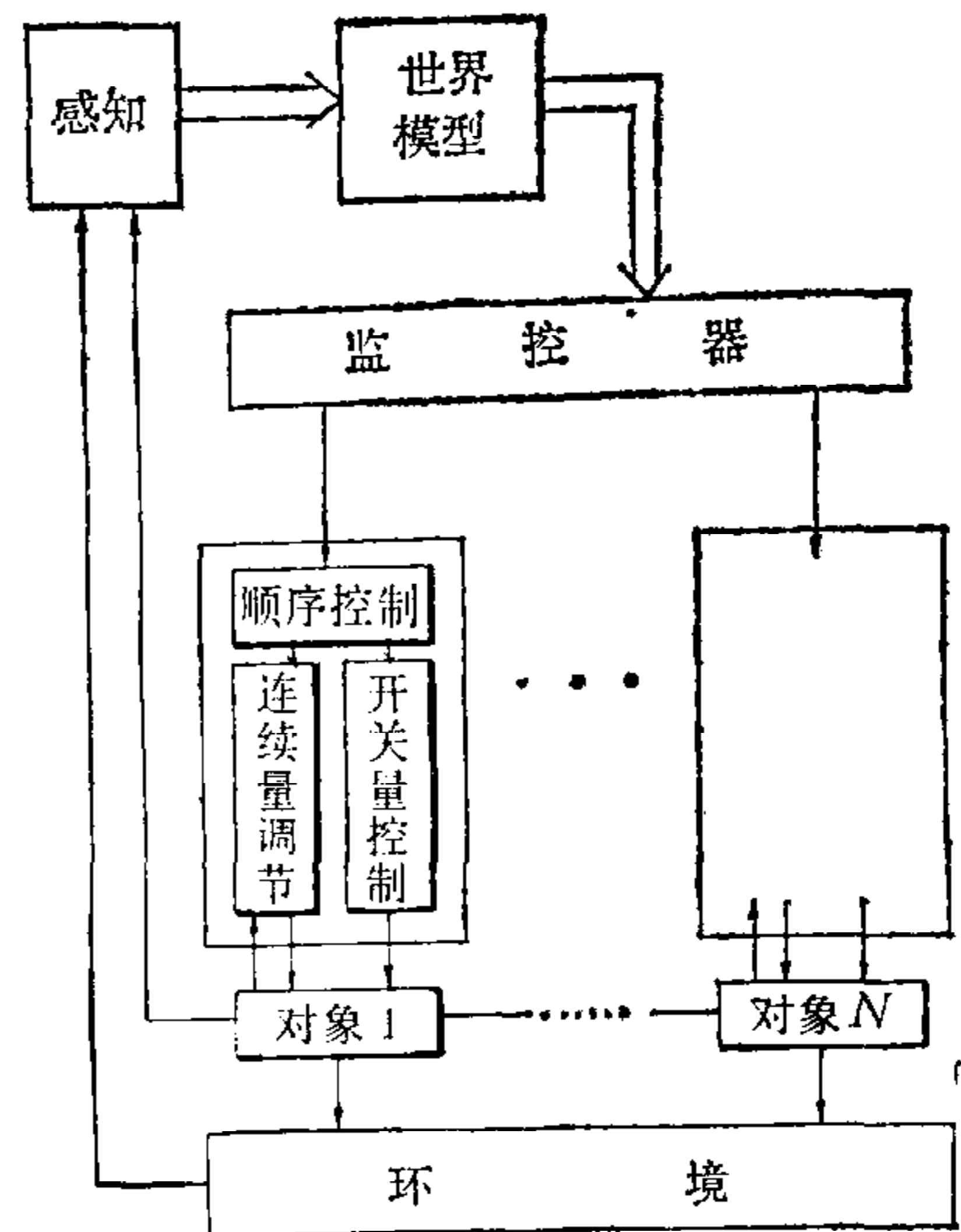


图 1 控制系统的结构

1) “世界模型”与“感知”术语的含意,本文后面将论及。

型,都还只能提供操作指导,人在监控级总体闭环中仍然占有不可取代的重要地位。计算机集成过程控制系统(CIPS)的研究,就是企图将监控级的功能,并进而包括生产计划、工艺设计、质量管制、设备维修等功能集成为一个系统,实现有监控和管理级的总体闭环控制,使人的在线介入降到最低限度^[4]。

近二十年来,由于硬件技术的发展,开关量控制实现了无触点化,顺序控制由固定的逻辑控制电路发展为以微处理器为核心的可编程序控制器(PLC)。连续量的调节,则从模拟式调节仪表、直接数字控制发展到以微处理器为核心的可编程过程控制器(PPC)。近年来 PLC 与 PPC 互相覆盖对方的功能,并与局域网、分布式数据库等技术相结合,形成了综合顺序控制、连续量调节和数据处理与通讯功能的新一代集散型控制系统。此外,计算机的多媒体技术正在迅速发展并走向实用化。应用软件开发中的瓶颈困难由于各种 CASE(计算机辅助系统工程)工具的发展与提高正在缓解。这些先进技术为控制系统的实现提供了强有力的技术手段。在基础自动化级,或者说在监控级采用开环程序控制的情况下,目前的技术已经相当成熟。然而,在监控级或进一步在管理级实现闭环自动控制的进程中,无论是机器人系统、加工自动化系统还是过程控制系统,都碰到了严重的困难,即如何处理环境及相关模型的描述与不确定性问题。尽管计算机技术正在日益深入广泛地渗透到自动控制领域,知识工程等人工智能技术也被应用于控制问题并取得了一些成功,但是由于控制理论尚未取得相应的实质性突破,这些追求新目标的控制系统均尚处于 ad hoc 阶段,系级的分析、设计、验证和判定缺乏坚实的理论基础。

2、控制系统理论

控制系统理论研究的对象是具有一阶马尔可夫性质的动态系统,它所取得的具有应用价值的成果,主要是针对集中参数的连续时间动态系统^[5]。这种系统的状态用 n 维向量空间中的点,即 n 个有序的状态变量来刻画。状态和输入、输出变量都是定义在某个连续时间区间 $[t_1, t_2]$ 上的实标量函数。这样的系统可以用满足利普希茨条件的一阶常微分方程组来描述其动态特性。针对计算机数字控制的需要,可以通过采样把本质上连续的动态系统人为地离散化,如此得到的集中参数离散时间动态系统,其动态特性用一阶差分方程组描述。

从控制对象的这种定量数学描述(数学模型)出发,就能够用严格的数学解析方法来研究控制系统的分析与综合问题。按照这种理论所设计的控制系统可能具有的功能包括:

- 1) 稳定——使闭环系统的状态在某个指定的平衡点周围是渐近稳定的;
- 2) 跟踪——使闭环系统的输出跟踪某个给定的时变轨迹,同时保持状态变量有界;
- 3) 优化——使闭环系统的某个指定的性能指标取极值,性能指标是系统状态和输入的一个标量函数,它反映系统的某种综合性能。

由此可见,控制系统理论基本上是一种面向参数的理论。它要求对象必须可以量化,而且各种量化参数之间的关系能够用微分方程描述。经典物理学中使用的最重要的数学工具就是微分方程,因此利用物理学原理设计、制造的各种器件和设备比较容易建立用微

分方程表示的数学模型。控制系统理论的方法对于以各种人造设备的参数为对象的系统控制问题最为适用。而在应用于过程任务(追求目标)的控制问题时,这一理论遇到的最大挑战,便是不确定性的问题。

60年代以后,为了扩大控制系统理论的应用范围,曾经对不确定性的问题进行过深入的研究^[6]。第一类不确定性是系统模型的不确定性(未建模动力学)。对此可设法使系统对模型的变化不敏感,即鲁棒性控制^[7];或通过在线辨识使这种不确定性逐渐降低以至消除,即自适应控制^[8]。这方面的研究提供了一些有工程应用价值的成果,可以在一定的范围内应用于过程任务的控制。但是对于比较复杂的生产过程,就难以完全用微分方程描述,模型的不确定性可能会超出现有控制系统理论能够处理的范围,其控制问题便不能在原有的理论框架内圆满地解决。第二类不确定性是环境的不确定性,它是客观存在的。如果环境变化的影响可视为随机干扰,并能用独立的概率统计分布来描述,则可设计卡曼滤波器来进行系统状态的最优估计,使系统控制在统计期望的意义上最优,即随机最优控制^[6,9]。这方面的研究成果,可以在控制对象与环境之间只存在弱相互作用时应用于过程任务(追求目标)的控制,例如航天、航空、航海中的一些控制问题。但是对于工业生产(连续生产过程和离散产品加工),控制对象与环境之间存在着具有因果关系的强相互作用,还可能包含离散的事件,与随机控制对环境所作的假定有本质的不同。

同时具有上述两类不确定性的系统控制问题称为双重控制(Dual Control)问题。Feldbaum的研究指出,在一般情况下双重控制问题的最优解是无法实现的^[10]。只有满足分离定理条件的所谓中性系统(例如LQG系统),参数辨识、状态估计和控制器设计彼此独立,双重控制问题的最优解才能实现^[11]。

由此可见,控制系统理论在其现有理论与方法的框架内尚不足以对付不确定性的挑战。要在非结构化和不确定性情况下,并且与控制对象有强相互作用的复杂环境中实现过程任务(追求目标)的闭环自动控制,必须建立新的理论和方法,这就是研究智能控制所要解决的问题。

3、离散事件动态系统

傅京荪在1971年曾指出^[12],为了解决智能控制的问题,可以用严格的数学方法研究发展新的工具,来对复杂的“环境-对象”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来建立对具有不能精确定义的环境和任务系统的控制设计方法。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进行研究。

离散事件动态系统(DEDS)理论的研究反映了沿上述第一个方向所做的努力。这种研究以FMS和CIMS为应用背景,近十年来取得了很大的进展^[13]。按照这种理论,除系统状态外还应引入事件(event)的概念,而事件与状态的相互作用决定了系统的行为与品质。采用离散数学和运筹学中的各种工具,如形式语言与自动机理论、Petri网论、通讯序贯过程、时序逻辑、排队论、极大代数、随机过程和统计分析等,提出了抽象程度不同的多层次的模型,以研究DEDS的动力学性质(如稳定性、能控性、能观性、极限行为等)和最优控制问题。这种研究的思路与控制系统理论是一致的,只是使用的数

学工具有所不同。然而由于 DEDS 的复杂性,用严格数学方法求得的解,在实现时常会碰到计算复杂性及非良好结构等问题。因此在计划、调度、排序等具体的复杂优化问题求解中,把定量的模型、计算与定性的知识、经验和推理搜索方法结合起来,已成为难免的趋势。另一方面,为了建立 DEDS 的统一理论,使现有的各种理论和模型形成一个集成的体系。有人认为,人工智能技术特别是专家系统的构造可能为形成这种集成理论的框架作出一份重要贡献^[14]。

4、学习控制系统

60—70 年代,对学习控制系统 (Learning Control Systems) 的研究^[15,16] 可以认为是智能控制研究沿傅京荪所说的第二个方向发展的最初尝试。其主导思路是将人工智能中的机器学习观点、模式识别方法和行为科学中的学习原理等引入控制系统,利用这些方法来获取不确定性系统中的未知信息,使控制系统的性能最终趋向确定性的最优控制。

为此,假定系统的状态空间 X 可以分割为 $X = \bigcup_{i=1}^m X_i$, 控制 $u \in U$, U 为有限可数集。设

对某个给定的性能指标 J , 当系统状态 $x \in X_i$ 时最优控制为 $u^* = u_i$ 。 (X_i, u_i) 称为一个控制格局 (Control situation)。于是最优控制问题便等价于控制格局空间 S 的一个

分割 $S = \bigcup_i S_i$ 。 离线的(有师)学习,就是根据控制格局的已知样本,用模式识别的分类

方法来建立这种分割;在线的(无师)学习,则是系统在运行中自动地逐步建立这种分割。

在线的学习控制采用纯随机策略 (Pure random strategy), 即根据子目标性能评价函数的变化来更新从 U 中选择具体控制作用的概率,使总体性能指标 J 最终趋向极小值。概率更新的算法称为学习算法,有从估计理论得到的贝叶斯算法、从行为科学中的学习模型得到的再励算法、基于梯度法思想的随机近似算法和或然搜索算法等。

当时研究学习控制系统所给出的实例都是面向参数的连续量调节系统,与所用的各种启发式算法的离散本性有很大的矛盾。因而即使很简单的系统也要用很复杂的方法进行状态空间的离散化和分割。同时,子目标性能评价函数的选择也十分困难,常有明显的人为雕琢痕迹。同样的问题用自适应控制等方法也能解决。因此,在常规控制适用的场合采用人工智能的启发式方法实际意义并不大。学习控制系统研究的意义在于它展示了一些新思想的合理性,对智能控制研究的发展有启发作用。

5、智能控制系统

在学习控制系统研究的基础上, Saridis 强调智能控制追求目标的功能,提出了智能控制系统的多级递阶结构^[17], 其中的执行级即图 1 中的基础自动化级,是面向设备参数的。由于把环境与对象分开,不存在结构性的不确定性,这一级可以用常规的控制理论设计。将监控级再划分为协调级和组织级。协调级实质上是一个离散事件动态系统,主要应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模拟人类智能

的功能,可以借鉴人工智能的方法研究。因此, Saridis 将傅京荪关于智能控制是人工智能与自动控制相结合的提法^[12]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。这个提法成为 1985 年 8 月在美国伦塞利尔理工学院 (RPI) 召开的 IEEE 首届智能控制暨纪念傅京荪逝世一周年学术研讨会上的主要论题。这次会议的结果, 决定在 IEEE 控制系统学会下设立一个新的专业委员会, 标志着智能控制这一新兴学科研究领域的正式诞生^[18]。

有关智能控制系统的许多概念均尚处于发展之中, 目前还没有一个公认的智能控制的严格定义。根据本文前面的分析, 智能控制系统应该具有以下的特点:

1) 智能控制系统的功能是实现过程任务(追求目标)的控制, 这是它最重要的行为特征。因此, 设备、器件级的控制系统即使采用了许多人工智能技术, 仍然不宜称为智能控制系统, 而称之为“智能化仪表”、“智能化常规控制器”更为恰当。但是, 常规控制系统是智能控制系统的基础, 它们与环境直接发生相互作用, 必须是高精度的确定性系统, 在整个系统中起着相当于“执行机构”的作用。常规控制系统的环境对智能控制系统而言则相当于“控制对象”。

2) 上面所说的环境可能是自然环境或某种人为环境。但是它必须足够复杂(非结构化、不确定性等), 并且与(常规控制系统的)控制对象有强耦合的相互作用, 才真正有必要采用智能控制技术。由于环境的复杂性, 有关“对象-环境”的知识很难完全用微分方程精确地描述, 必须寻找新的建模方法和工具。“对象-环境”的知识表达称为“世界模型”, 它通常是一种包含数学表示、符号表示及其它目前未知形式表示的非纯一 (heterogeneous) 知识库。智能控制系统的“建模”问题, 既是 DEDES 研究的重要内容, 也是人工智能研究中知识获取与表达这一难题的一部分。而有关非纯一知识库的集成、接口与操作等, 则是智能控制系统本身需要研究的特殊问题。

3) 智能控制系统要实现过程任务(追求目标)的控制, 就必须对环境的变化产生灵活的反应。这实质上是一种在更高的抽象层次上的反馈作用。因此反馈原理是普遍适用的, 它在智能控制中也同在常规控制中一样起着十分重要的作用。然而由于环境的复杂性, 反馈信息就不只是模拟量和数字量, 还可能包括声音、图形、图象、语言描述等。这种多媒体的反馈称为“感知”。“感”是指信息的采集和预处理(例如特征抽取); “知”则是指对信息的理解(例如场景分析和模式识别)。“感知”也体现了智能控制系统的非纯一性特点, 要求系统有融合大量性质不同的传感器信息的能力。

4) 智能控制系统的研究, 一方面致力于前述的建模, 即知识获取与表达问题, 以期尽量减少世界模型的不确定性; 另一方面需要研究高层决策, 即控制算法, 使系统能够容忍和弥补模型的不确定性, 即要求系统具有学习和容错的功能。学习是系统在运行过程中积累经验、更新知识的手段, 它是智能控制系统的的一个重要特征。

5) 智能控制系统的高层要进行抽象程度较高的人-机交互、知识与感知信息的处理、推理判断等活动, 因此具有离散、定性、模糊、大时间常数等特征; 而底层则要求连续、定量、准确、快速。这就是熟知的 IPDI (智能随精度的提高而降低)原理^[19]。智能控制系统具有分层递阶结构在目前是比较普遍的共识。最近有人根据神经生物学的最新研究提出分层不一定必要^[19], 主要是指表示层 (representation layer) 与推理层 (inference layer)

的划分而言。事实上这两者的区分在分布式智能控制系统中早已日渐模糊。

6) 图灵意义上的机器智能^[20],若用有限状态、有限记忆的机器来实现,必须令这种机器的数目趋向无穷大才能达到。显然,智能控制中的“智能”一词应该是另外一个更有工程实际意义的概念。根据本文的分析,“智能”是用来表征系统自动化的程度、范围及其所能完成任务的复杂程度。因此,作为智能控制系统总体性能评价的“智能度”,应该用在一定的硬件规模和存储容量条件下系统的知识拥有量、知识处理效率及知识更新能力来表示。

6、智能控制与人工智能

在人工智能(AI)研究中,过去许多年里居主流地位的是逻辑学派(即传统AI)。斯坦福研究所(SRI)的Shaky机器人系统^[2]就是把传统AI的方法和常规控制的思想与技术相结合而建立的第一个反映了智能控制部分特点的实验系统。它的体系结构和控制思想对以后的研究工作产生了深远影响。但是这种系统在应用于有实际意义的环境和任务时遇到了难于克服的困难^[21,22]。这是因为传统AI方法本来是针对静态环境中明确定义的问题(例如下棋、证明数学定理等)而发展起来的,它是否能够有效地解决动态环境中的具有不确定性的控制问题,尚有待进一步的研究。Shaky控制系统是智能控制研究中遵循“自上而下”的路线发展的一个经典例子。其它例子还见于文献[23,24]等。这种方式的特点是首先从高层控制的思想、观念和理论入手向下层发展,在简化条件下建造仿真或实验系统来研究智能控制的基本概念和验证控制算法。AI中近年兴起的行为(进化)学派^[25],则是采用“自下而上”的方式,首先从建立“感知-行动”的直接映射入手向上层发展,同样是在简化条件下去研究各种新的分布式智能控制体系结构及相应的控制算法。美国自然科学基金会(NSF)和电力研究所(EPRI)在1992年宣布联合资助的“智能控制系统”研究计划^[26],就是要推动这一类基础研究工作,以更广泛(不局限于机器人)的应用为背景向纵深发展。

以解决工程实际问题为具体目标,对常规控制系统进行的“智能化”工作,例如工业机器人的智能化、PID调节器的智能化等,也是“自下而上”地发展智能控制技术的一个重要方面。知识工程是AI中迄今应用最为成功的一个分支。利用人类经验知识和模糊逻辑开发的基于规则控制系统(专家控制系统)、综合利用人类经验知识和理论(机理)数学模型开发的基于知识控制系统都已经在工业生产上获得比较广泛的应用^[27,28]。目前迫切地需要有系统的理论工具来对这种包含符号推理与数值计算的混合系统进行分析、验证、判定和评价,以使控制系统的设计工作摆脱目前的手工技艺状态,确保系统的可靠性、安全性、运行效率和用户兼容性。美国政府能源部(DOE)和美国钢铁学会(AISI)联合资助的“智能化过程控制系统”研究计划^[29],就是要推动这种应用研究工作向更高的理论层次发展。

AI中的联接主义学派(人工神经网络)方法在控制问题中的应用近来引起了许多研究者的兴趣^[30]。将人工神经网络看成一类特殊的动态系统,是解决智能控制系统中各个层次建模问题的一种可能途径。人工神经网络的学习功能也可能使它成为实现智

能控制系统知识更新的一种有力工具。

把对复杂环境建模的严格数学研究同 AI 中这些新兴学派思想的研究紧密结合起来, 有可能导致新的智能控制体系结构的产生和发展。例如, 可以设想: 用严格数学模型和知识工程的方法建立先天性基本行为模块, 用人工神经网络学习生成后天性基本行为模块, 按照进化主义原理将它们集成为一个分布式的智能控制系统。可以预料, 这种研究将会在前述“自上而下”和“自下而上”两个方向工作进展的交汇处取得重大突破, 使智能控制系统的研究出现崭新的局面, 而不仅是停留于在监控级用一个简单的基于规则控制器将基础级的常规控制系统松散地耦合起来的水平。

参 考 文 献

- [1] 杨嘉墀, 戴汝为. 智能控制在国内的进展. 第一届全球华人智能控制与智能自动化大会论文集补卷, 清华大学, 1993: 1—8.
- [2] Nilsson N J. A Mobile Automation: An Application of Artificial Intelligence Technique. Proc. Int. Joint Conf. on AI, 1969.
- [3] 计算机集成制造系统译文集. 中国科学院自动化研究所, 1988.
- [4] Rao M. Frontiers and Challenges of Intelligent Process Control. *Engng. Applic. Artif. Intell.*, 1992, 5(6): 475—481.
- [5] Brogan W L. Modern Control Theory. Quantum Publishers Inc. 1974.
- [6] Saridis G N. Self-Organizing Control of Stochastic Systems. Marcel Dekker Inc. 1977.
- [7] Davison E J. The Robust Control of a Servomechanism Problem for Linear Time-Invariant Multivariable Systems. *IEEE Trans. Auto. Contr.*, 1976, AC-21(1): 25—34.
- [8] Astrom K J, et al. Adaptive Control. Addison-Wesley, Reading, MA., 1989.
- [9] Meditch J. Stochastic Linear Estimation and Control. McGraw-Hill, New York, 1969.
- [10] Feldbaum A A. Dual Control Theory. *Automation Remote Control* 1960, 21(9): 1240—1249; 1960, 21(10): 1453—1464.
- [11] Wonham W M. On the Separation Theorem of Stochastic Control. *SIAM J. Control*, 1968, 6: 312—326.
- [12] Fu K S. Learning Control and Intelligent Control: An Intersection of Artificial Intelligence and Automatic Control. *IEEE Trans. Auto. Contr.*, 1971, AC-16(1): 70—72.
- [13] 郑大钟, 郑应平. 离散事件动态系统理论: 现状和展望. 自动化学报, 1992, 18(2): 129—142.
- [14] 郑应平. 离散事件动态系统多模型集成控制理论. 信息与控制, 1992, 21(1): 29—35.
- [15] Fu K S. Learning Control Systems: Review and Outlook. *IEEE Trans. Auto. Contr.* 1970, AC-15: 210—221.
- [16] Saridis G N. On-Line Learning Control Algorithms, Learning Systems. A Symposium of the JACC, 1973: 19—52.
- [17] Saridis, G N., Toward the Realization of Intelligent Controls, Proc. IEEE, 1979, 67(8): 1115—1133.
- [18] Saridis G N. Foundations of Intelligent Control. *Proc. IEEE Workshop on Intelligent Controls*, 1985, (23).
- [19] NSF/EPRI. Workshop on intelligent Control Systems. Oct 15—16, Palo Alto, California, 1990.
- [20] Turing A. Computing Machinery and Intelligence, in “Computers and Thought”, E A Feigenbaum and J Feldman (Eds.), McGraw-Hill, New York, 1963.
- [21] Pylyshyn Z W (Eds.). The Robot's Dilemma: The Frame Problem in Artificial Intelligence. Ablex Publishing Corp., 1987.
- [22] Luo G L. Robots and Intelligence. Proc. Int. Workshop on Advanced Robot, Beijing, 1991, 4.52—4.57.
- [23] Saridis G N. and Valavanis K K. Analytical Design of Intelligent Machines. *Automatica*, 1988, 24(2): 123—133.
- [24] Meystel A. Planning in a Hierarchical Nested Controller for Autonomous Robots. Proc. 25th IEEE Conf. Decision and Control, Athens, Greece, 1986.
- [25] Maes P (Eds.). Special Issue: Designing Autonomous Agents. *Robotics and Autonomous Systems*,

- 1990, 6(1): 2.
- [26] NSF/EPRI. Intelligent Control-Annoucement of Program Initiative, 1992.
- [27] Åström K J. Toward Intelligent Control. *IEEE Control Systems Magazine*, 1989, 9(3): 60—64.
- [28] Noderer K and Henein H. A Survey on the Use of Expert Systems in the Iron and Steel Industry. Ironmaking Conf. Proc., ISS-AIME, 1990, 49: 497—501.
- [29] Tony W A. Nothing Artificial About Impact of Expert Systems on the North American Steel Industry, Iron & Steel Making, Jan. 1991: 18—21.
- [30] Antsaklis P J (Eds.). Special Issue: on Neural Networks in Control Systems. *Control Systems Magazine*, 1990, 10(3): 3—87.

INTELLIGENT CONTROL AND CONVENTIONAL CONTROL

LUO GONGLIANG

(Department of Automation, WISCO, Wuhan 430083)

LU QIANG

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

ABSTRACT

Intelligent control is aimed to solve the task-oriented (goal seeking) control problems in complex environments which are unstructural, uncertain and have strong interactions with the plants. Traditional AI approach with emphasis on symbolic processing and logic reasoning has been confronted with serious difficulties in action oriented tasks, however, studying of new techniques for modelling and recognition of complex environments by mathematically precise ways and development of design techniques for imprecisely defined environments and tasks based on ideas in the newly emerging schools of AI may be integrated to provide new schemes and architectures for intelligent controls. In this paper, the authors anticipate the possibility that significant breakthrough would occur when the research following the top-down lines intersects with those following the bottom-up lines.

Key words: Intelligent Control; Control Systems; Artificial Intelligence.



罗公亮 1965年毕业于四川大学, 1980至1981年任美国普渡大学访问学者, 1982年5月和1985年12月在美国RPI先后获得硕士与博士学位。现为冶金部自动化研究院高级工程师。主要研究方向: 智能控制体系结构与理论基础及其工程应用。

卢强 1959年毕业于清华大学, 后留清华大学任教。1984至1986年为美国华盛顿大学(圣路易)访问学者与卡罗拉多州大学客座教授。回国后任清华大学教授。主要研究方向: 控制理论及应用。