

控制论(Cybernetics)的问世已经半个世纪。1958 年工程控制论中文版的出版距今已达 40 年之久,这部著作影响和造就了我国一批自动控制和系统工程方面的人才,具有十分重要的意义。近 50 年来,在控制论这面旗帜下又导致了一些新的领域与分支的出现。如工程控制论,生物控制论以及社会控制论就是在发展中形成的领域。控制论是系统工程、系统科学的基础构件。控制论的科学思想推动了学科的交叉发展与科学的整合,促进了自然科学跨越到社会科学,从而共同发展的过程。当前,随着信息技术等高科技领域的高速发展,社会的政治、经济、文化各个方面都在发生着前所未有的变革,在这种情况下,各种复杂的从未有过的全新问题不断地涌现出来了。要解决这些问题,我们需要新的科学思想,新的观念和新的技术的出现。

### 1、工程控制论(Engineering Cybernetics)

相对论、量子论以及控制论被人们认为是 20 世纪上半叶的三项伟大科学伟绩。1948 年美国科学家维纳发表专著提出了控制论(Cybernetics)。经后人研究,1935 年维纳在清华大学做了一年的访问教授,控制论思想起源于清华。1954 年钱学森在美国出版了《工程控制论》一书,以及控制与导航方面的工作,成为推动控制论科学思想的代表人物之一。由于工程控制论的问世,以及钱学森于 1955 年返回祖国,当时前苏联哲学界从对控制论的批判态度而转变为赞扬,这一转变在 1960 年莫斯科举行的第一届国际自控联大会上明显地得以证实。

钱学森是著名的力学家,他亲身参与了美国应用力学的发展,经历了流体力学作为一门技术科学,怎样从水利工程师、气象工程师、空气动力工程师以及其它领域工程师们的工程技术实践中加以总结提高,从而分离出来的过程。由于有了流体力学提供的理论与方法,上述领域的工程师们才能在他们日常的工作

程技术实践中分离流体力学研究成果。至少可以说,如果没有流体力学提供的理论与方法,那么对超声速流动的了解与利用肯定会大大延迟。站在这样的科学思想和方法论高度,钱学森在四十年代末、五十年

代初对二次世界大战后迅速发展的控制系统与制导工程技术实践进行全面观察时,具有比旁人更敏锐的眼光去发现、提炼出指导控制与制导系统设计的普遍性概念、原理、理论和方法,从而创建了作为一门技术科学的《工程控制论》,就是十分自然的事了。

1956 年钱学森的专著《工程控制论(Engineering Cybernetics)》获中国科学院自然科学一等奖,当时钱学森任中科院力学研究所所长,中国自动化学会首任理事长。第一版《工程控制论》是用英文发表的,1954 年由麦克罗·希尔(McGraw-Hill)图书公司在美国出版。此后,俄文译本于 1956 年,德文译本于 1957 年,中文译本于 1958 年相继出版。书中所阐明的基本理论和观点,一方面奠定了工程控制论这门技术科学的基础,另一方面指出了进一步研究的方向,对自动化科学技术理论的进展起了重要作用。原书中、英、德、俄等各种文版不断为世界各国科学技术工作者所引证和参考。已故自动控制专家高为炳院士,曾于 90 年代中期撰文,论证工程控制论是自动控制领域中引用率最高的著作。宋健和其他几位中青年控制理论科学家根据钱学森的委托而完成的《工程控制论》(修订版),1980 年出版。工程控制论从深度到广度上推动了电子计算机技术革命、核能技术革命、航天技术革命和光子技术革命的发展。

### 2、控制论的三个阶段

控制论的研究有 50 多年的历史了。在这个过程中,由于对不同时代

的需求不同,因此在控制论基本思想的指导下,形成了不同分支的发展。主要可概括为工程控制论,生物控制论与社会控制论。

### 3、控制论的影响

1996 年月,钱学森在与同事的通信中谈到:过去几十年世界的自动化科学技术发展形成两大块,一是

# 工程控制论 中文版 出版 40 周年纪念

中国自动化学会 戴汝为

由所谓软件技术发展起来,现在出现了 CIMS, CAE, 以至灵境技术, Virtual prototyping 等等,二是所谓 AI。而现在这两大块又趋于融合,都是人一机结合的智能系统。控制论的科学思想推动了交叉学科的发展与科学的整合,自然科学跨越到社会科学。这里着重讨论了控制论对人工智能与人工生命的进展的影响,这就促成了控制系统与知识系统的汇合形成智能系统。

人工智能问世以来虽然取得了一些成果,但不断遭到批评,国际上人工智能的学术团体对于来自哲学界的批评,并不十分介意。但在 1991 年在悉尼举行的第 12 届国际人工智能联合会议上,年轻的 AI 专家 Brooks 对传统 AI 的反思与批评,起到了强烈的冲击,提出了现场 AI (situated AI), 在此前后出现了现场认知 (Situated Cognition), 其主要的思想是来自控制论早期的思想,控制论的先驱者 Ashby 早在 50 年代就已经认识到受控制对象与其运行的环境是一个整体,在研究控制系统时,不仅仅是建立受控制对象的模型,而需要建立对象与环境的模型。后来人们越来越清楚,一个控制系统是否复杂,体现在受控制对象与其运行的环境两个方面,以机器人为例,进行部件装配的机器人是固定在一个范围内活动的。它的运行环境比较简单,但是如果设计与制造为家庭生活服务的家用机器人,由于家庭生活环境往往是杂乱无章的,适应这种环境的机器人就变得十分复杂。Brooks 就是以家用机器人为例来说明智能体与环境的关系,在此次大会之前他发表过与传统 AI 大相径庭的文章“没有表示的智能”,在大会上他接受“计算机和思维”的奖项时,又作了题为“没有推理的智能”的报告,而“表示”和“推理”是传统 AI 中起到支撑作用的核心概念。Brooks 不仅是从理论上加以阐述,而是在会上介绍了他所从事的“人造昆虫”的工作,即有 6 条腿,能到处行走,可以绕过障碍物的“机器人”。他强调智能体与环境之间交互作用的重要性,概括为现场 (Situated) 的说法;另外对智能体并不只是一个程序,而是物理的有眼有手的对象概括为 (Embodied) 的说法:智能体是具体的,在环境中智能体的各部分互相协调,具有一定的适应性。以上说法与传统 AI, 联接机制 AI 大不相同,称之为现场 AI。在同一时期,人们对于认知 (Cognition) 也产生了与以往以物理符号系统为基础的传统认知不同的观点,以 AI 的先驱者司马贺 (H. Simon) 教授为一方,年轻的学者克兰西 (W. Clancey, 他是 Simon 的学生的学生) 为另一方,对传统认知与现场认知的两种观点展开了激烈的争论。按现场认知的观点,知识获取并不是知识的传递,而是一种创造的表示,第一次形成模型的过程,认知方式不是按计算机的 CPU 方式操

作的,是一种协调感知—运作的辩证机制;智能体 (Agent) 的行动是感知—运作多个循环的结果,是一种自组织的机制。感知、思维和运动总是一起发生的,是动物的紧凑协同 (Dewey)。

#### 4、人工生命与适应性 Agent

提到计算机的体系结构,人们自然就会提到 Von Neumann, 这位控制论的先驱者,最早提出研究自繁殖的机器,以元胞自动机为工具,近年来 SFI 的 C. Langton 进一步地提出人工生命的研究。

##### 4.1、人工生命

人工生命的概念是在 1987 年由 Santa Fe Institute 的 C. Langton 首先提出来的,立即获得众多领域的专家、学者的关注,包括经济学界,社会学界、计算机学界、人工智能学界、生物学界、机器人学界等等。由于人工生命科学仍在蓬勃发展之中,而且涉及的领域几乎是包罗万象,很难对其作一详细的介绍。这里只是对人工生命作一很简短的论述,分作三个方面:人工生命的宗旨、信条以及研究目标。

##### a、人工生命的研究宗旨

人工生命的研究宗旨是揭示构成生命所需的最本质特征以及生命演化的最基本规律,而不是企图真实模拟地球上已知的碳水化合物构成的生命形式。这与人工智能研究者以模拟思维为宗旨有着根本的不同。

##### b、人工生命的研究信条

生命并不存在于单个物质中,而是存在于物质的组合之中;生命行为从大量简单的物质的相互作用中自下而上地突现出来。这意味着构成生命的物质本身并不重要,这就是生命的抽象性。故生命系统的实现形式有多种。除了我们已知的炭水化合物的形式,还可以是物理的,符号的,化学的以及程序的形式等,既可以生存于真实的物理环境,也可以生存于真实的软件环境,或者某种模拟环境之中。

##### c、人工生命的研究目标

最有趣的生命特征莫过于生命的适应性。对任何事物的研究均有两种方式:从事物的发展变化中来进行研究或者从事物的组成部分出发以先分析后综合的方法来进行研究。对人工生命的研究亦不例外,按照达尔文的观点,生命的适应性当然是进化的结果。但是,生命的适应性如何从构成生命的基本单元中突现出来的问题并没有得到解决。生命的适应性研究应从进化和突现两方面同时展开。遗传算法是当前最好的进化模型,但对于突现迄今为止还没有很好的理论。再考虑到人工生命的抽象性,可以说人工生命的研究是企图建立进化与突现的一般理论。

对人工生命有了以上认识就不难理解以下关于适应性 Agent 的研究。

#### 4.2. 适应性 Agent 的研究框架

从前面关于适应性 Agent 的定义可以知道, 适应性 Agent 应能够在动态的、不可预测的环境中, 完成多个可能相互间有冲突的、并随着时间而变化的目标, 甚至能从经验中学习。

a、设计适应性 Agent 遵循以下两条原则:

(1) Embodied 原则。

(2) Situated 原则。

b、适应性 Agent 的研究分为两个方向:

(1) 动作选择 (Action Selection)。

(2) 巩固学习 (Reinforcement Learning)。

这两方面的工作还远未完善, 尤其是二者的集成几乎是不可能的。

c、认知 Agent (Cognitive agent)

认知 Agent 的研究并不是企图建立人的认知模型, 而是试图从人脑、生物学、生态学等领域获得某种启示, 而在 Agent 的设计中加以利用, 以改善 Agent 的行为。这方面的研究主要在以下几个方面: 记忆与学习模型; 基于现场的记忆模型与传统的 AI 有根本的区别; 感情模型; 研究的根本目的是感情如何影响行为选择; 注意模型。

#### 5、复杂性科学 (Science of Complexity)

本世纪中叶, 控制论这面旗帜在科学领域中飘扬, 导致了許多新的领域与分支的出现。前面谈到, 控制论是系统工程、系统科学的基础构件。由于工程控制论创建人钱学森以及许国志等前辈科学家的努力, 系统工程在中国取得了举世瞩目成就。从系统的发展来看, 大致可以分为两条线索, 一是起源于控制论, 并以控制论为标志的控制系统; 另一是起源于人工智能为标志的知识系统。近些年来, 控制系统与知识系统从简单到复杂融合在一起形成了人机结合的智能系统。这类系统把人作为系统的一个子系统, 包括在系统之中。在系统发展的过程中, 钱学森从退居二线后的八十年代, 亲自参与并指导三个讨论班: 系统科学讨论班、人体科学讨论班以及思维科学讨论班, 并参与了 710 所由经济学家马宾指导下、于景元等所从事的物价及宏观经济的研究。在进行了大量工作的基础上, 他对系统科学的研究有了开创。提炼出开放的复杂巨系统 (这类系统的典型如: 人脑系统、人体系统、人文地理环境系统以及社会经济系统), 并且提出了处理这类系统的方法论, 即从定性到定量的综合集成法 (metasynthesis); 钱学森进一步于 1992 年初提出了从定性到定量的综合集成的研讨厅体系。

如果对国外的情况加以分析比较, 就会发现: 当 1990 年国内提出开放的复杂巨系统这个新的科学领域时, 国外科技界举起“复杂性科学”的旗帜。就美国的情况而言, 对“复杂性”的研究, 由于有两种截然不同的观点, 与前面所谈到的工程控制论与社会控制论两者所强调的不同有类似之处。一种观点概括为: 复杂性在所观察的系统中; 另一种观点概括为: 复杂性并非所观察到的一种性质, 而是我们自己思维不清晰所产生的一种感觉, 是不理解的一种主观的反应。持第一种观点的, 如把“系统动力学 (System Dynamics)”作为标志, 以 Jay Forrester, Dennis Meadows 及与 MIT 有密切联系的学者为代表的 MIT 学派。另一具有代表性的是以“自适应系统理论 (Adaptive Systems Theory)”为标志, 聚于圣菲研究所 (Santa Fe Institute) 以 John Holland 等为代表的学派; 他们的工作有所不同, 都具有长时间建立的形式化的数学基础。对第二种观点的主要是继承了 Charles Sanders Peirce, Geoffrey Vickers 等学者的观点与学术思想, 以 John Warfield 为代表的 Geoge Mason 大学学派, 他们在组织管理方面做了很多工作, 但被人理解的程序似嫌远远不够。这一派号称以结构为基础 (Structure Based)。他们对“系统”的看法远远不同于“计算机系统”或“信息系统”, 而是接受了 G. Vicker 所阐述的观点: “‘系统’这个字已经变得紧密的与人造系统以及技术设计及计算机科学联系在一起。‘系统’危险地变得没有用于人类的历史与文化背景之中。我企图对它的拯救与恢复做些贡献。由于我们需要它来在人类的及社会的背景中进行理解与行动, 而人类的及社会的背景是太过于复杂和不精确, 而容有建立形式化模型的余地。”

“与此相类似, 我打算拯救‘复杂性’这个用语, 恢复到对它要求的一般水准, ‘我们需要的是在人类的和社会的背景中的理解 (understanding) 与行动 (action)’。”

以结构为基础的这一学派, 所说的“系统”是不能用形式化的模型加以描述的, 他们把人包括在系统之中。人们在面对现实世界的种种问题时, 追求完善的数学表达, 具有普遍适应的解, 看来是不现实的。

在简要的讨论了美国有关复杂性的研究, 再回过头来看看我国的研究。可以看出, 开放的复杂巨系统与复杂性有密切的联系。开放的复杂巨系统的提出, 以及表征这类系统的复杂性的研究, 具有鲜明的特色。这可以说是对《工程控制论》中文版出版 40 周年最具有意义的纪念!

(本文是作者于 1998 年 12 月 22—23 日在香山举行的, 题为“控制论与科学技术革命”的第 110 次香山会议上的发言, 转载时略有删节)