

智能科学发展的若干问题¹⁾

蔡自兴¹ 贺汉根²

¹(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)

²(国防科技大学机电与自动化学院 长沙 410073)

(E-mail: zxcai@csu.edu.cn)

摘 要 提出建立智能科学及其体系问题,阐述了智能科学学科体系的基本框架,归纳了智能科学研究对象的一般特征,分析了当前智能科学研究的若干重要课题涉及计算智能、集成智能、分布式智能和多艾真体系统、机器学习与知识发现、人工生命、智能控制、智能机器人,以及量子信息处理等,探讨了工业化、信息化、智能化与自动化的关系,并在最后强调指出发展智能科学对创造知识产权、应对入世挑战和增强国家实力具有重大意义。

关键词 智能科学,学科体系,智能化,知识产权,艾真体

中图分类号 TP13

SOME ISSUES ON INTELLIGENCE SCIENCE DEVELOPMENT

CAI Zi-Xing¹ HE Han-Gen²

¹(College of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083)

²(College of Electromechanical Engineering and Automation, National Defense University, Changsha 410073)

(E-mail: zxcai@csu.edu.cn)

Abstract The intelligence science and its system are proposed in the paper and the basic frame of the intelligence science system is established. General features of the research objects of the intelligence science are summarized. Some current research topics of the intelligence science including computing intelligence, distributed artificial intelligence and multi-agent systems, machine learning and knowledge discovering, artificial life, intelligent control, advanced robotics as well as quantum information processing are discussed. Relationship among the industrialization, informatization, intellectualization and automation is investigated. The significance for developing the intelligence science to create the knowledge property, to meet the challenge of entering WTO, and to reinforce the state power is emphasized in the end.

Key words Intelligence science, disciplinary frame, intellectualization, knowledge property, agent

1) 国家自然科学基金(69974043,60075020)资助

收稿日期 2002-04-21 收修改稿日期 2002-08-06

1 引言

两年前,在人类进入 21 世纪的前夕,全世界都在谈论“知识经济”和“知识经济时代”。然而,当我们跨入新世纪的门槛时,这种声音却突然消隐,很少有人再提到知识经济了。人们千万不要以为知识已变得不太重要了,恰恰相反,在我国加入世贸组织之后,我们更要充分认识到知识产权和知识的重要性,深刻体会“知识就是力量”这句上世纪的名言。

过去,经济发达国家靠工农业产品控制国际市场和其他国家。后来,他们又靠技术和资本力图操纵国际市场。毫无疑问,产品、技术和资本仍然是国际市场竞争的重要因素。然而,随着全球经济一体化的进一步发展,知识、人才和知识产权已成为新世纪争夺国际市场的更加重要的因素。缺乏技术含量的产品是卖血汗钱的廉价产品,是“打工仔”的产品;没有知识产权的产品则是侵权和违法产品,是受制裁的产品。不管是否提“知识经济”,我们都必须高度重视创造自己的知识产权,保护知识产权,振作精神应对以知识产权为核心的国际市场竞争。

被称为“三论”的控制论、信息论和系统论创立至今已有半个世纪了。值得我们自豪的是,“三论”已为 20 世纪国际科学技术和世界经济的发展做出功不可没的贡献。控制科学和自动化技术在过去半个世纪中对技术进步和社会发展所起的重要作用,将对解决当今社会的挑战性问题产生积极影响,起到不可替代的作用。不过,随着生产力的持续进步和科技的进一步发展,传统的科学技术已不能适应时代前进提出的要求。众多的产业、经济、科技和社会问题,无法用传统的数学方法和技术加以解决。50 多年前诞生的人工智能学科,冲破学术思想禁锢,提出了基于知识的问题求解方法,是国际自然科学界乃至社会科学界和哲学界一次思想大解放^[1]。人们至今仍把人工智能视为计算机科学的一个分支。这种认识已不能反映人工智能的发展需要。30 多年前提出和实现的专家系统是人工智能走向应用的成功尝试,并成为知识工程的核心领域,成为知识经济的先声。在过去 20 多年中,人工智能的推广及其与其它学科的交叉融合形成了诸如智能控制、智能机器人、智能计算机、智能决策系统、智能管理、智能网络等一大群新的跨学科或交叉学科。到千年交迭和世纪之交的历史时刻,建立一门新的包罗所有这些相关智能学科的科学——智能科学的条件已基本成熟。

从人工智能发展到智能科学,大致花了 50 年左右,千千万万的研究者为之倾注心血,甚至贡献出毕生精力。人工智能和智能科学的发展道路并非平坦,他们遭到外部的错误批判和攻击,也受到内部不同学派的非难和贬低。当我们提出探讨建立智能科学的时候,相信能够得到学术界内外的关心和帮助,共同创造一种严谨而又宽松的学术环境,为智能学科的建立和发展而共同努力。

2 智能科学的学科体系

当代科学技术发展的一个重要趋势就是多学科、跨学科和交叉学科(multi-trans-and inter-discipline)的融合与集成。智能科学就是相关学科发展、融合和集成的结果。

2.1 某些智能学科体系

1) 维纳(Wiener)的控制论

现代控制论的创立者维纳 1948 年在深入研究动物与机器的控制和通讯问题时,提出了著名的控制论^[2]. 维纳的控制论至少包含生物学、计算机、控制和通讯等学科,其中多为如今所谓的 IT 学科.

2) 智能控制

智能控制一开始就是以交叉学科的面目出现的. 在学科结构上,至今已提出了二元、三元和四元交集结构理论^[3~6]. 其中四元交集结构理论把智能控制看作自动控制、人工智能、信息论和运筹学 4 个学科的交集,如图 1 所示.

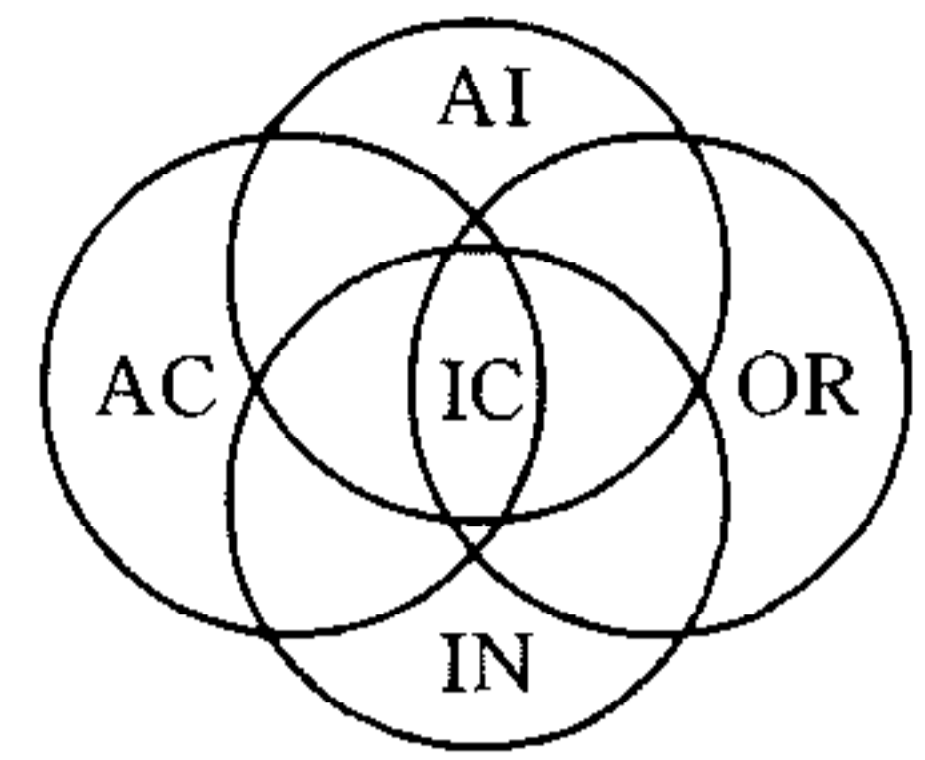


图 1 智能控制四元结构

图 1 中, AI, AC, OR, IN 和 IC 分别表示人工智能、自动控制、运筹学、信息论和智能控制. 四元交集, 优势互补, 克服了单一学科的限制性, 促进智能控制的发展. 智能控制已被认为是自动控制通向自主机器道路的顶层.

3) 机器人学

机器人学是一门研究机器人原理、技术和应用的学科, 也是一门高度交叉的学科. 对机器人学的研究涉及机械学、生物学、人类学、人工智能、计算机、传感学和其它一些应用学科. 然而, 在诸多相关学科中, 关系最为密切的应为机械学、人类学和生物学, 即所谓“机器人学的三元交集结构”, 如图 2 所示. 大部分工业机器人和行走机器人是模仿人类上肢和下肢功能的机器人或机械人, 是机械人工程学的研究领域.

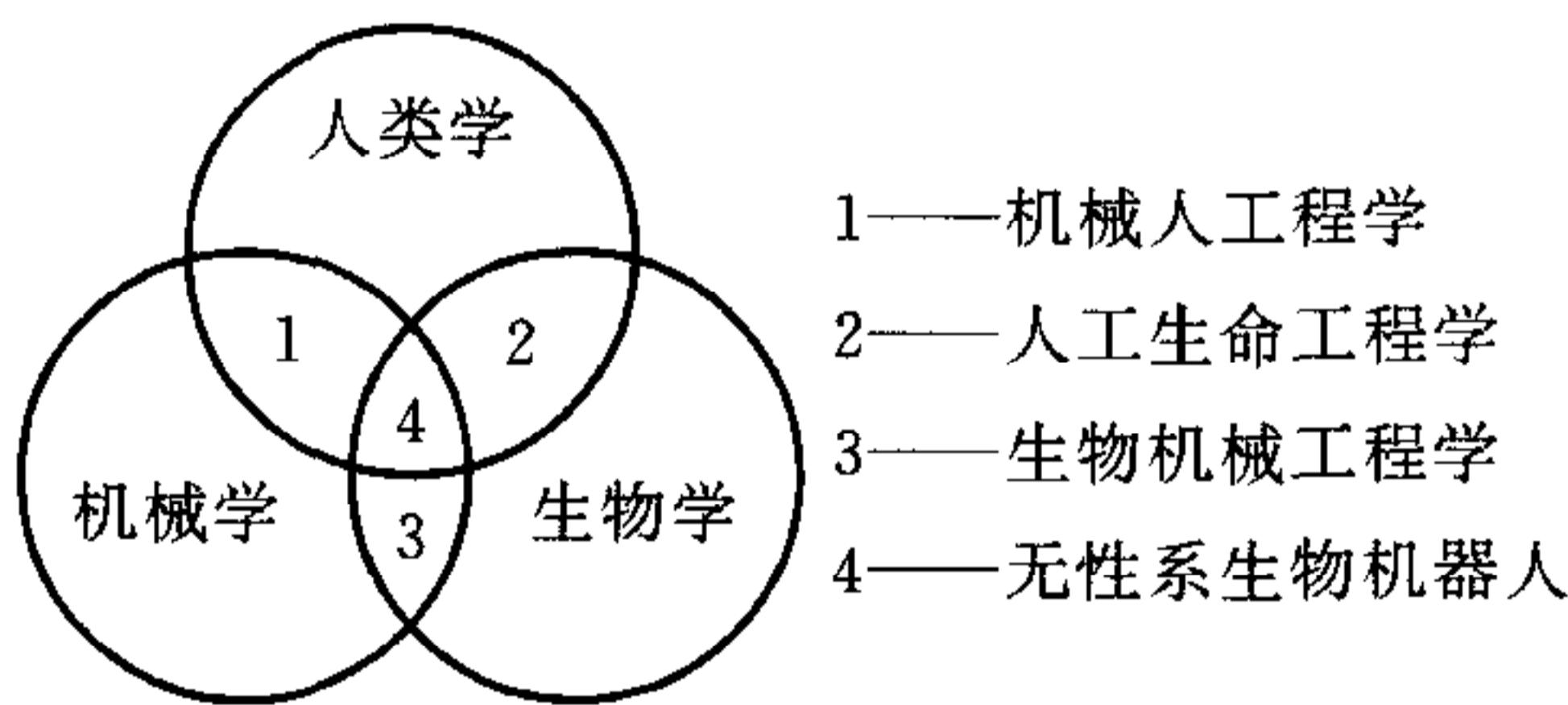


图 2 机器人学三元结构

应用生物工程技术研究人类生命和生殖问题是人工生命工程学的研究范畴; 如果把生物视为一种 DNA 链的特种装置, 那么人工生命工程学是研究有生命的机器人问题. 生物学与机械学的交集, 产生了生物机械工程学, 研究仿生机械和机器人.

图 2 中人类学、生物学和机械学三者之交集部分, 研究用生物工程方法和技术制造拟人机器人, 既无性系生物机器人或无性系人, 也可称为克隆人 (clone man)^[7,8]. 这应是研究的一个禁区.

4) 智能计算机

下一代实用的计算机或智能计算机应该是什么, 人们已探索和争论了十多年, 至今仍未有明确答案. 我们认为, 新一代智能计算机将涉及人工智能、计算数学、生物信息处理、量子计算、自然语言理解和脑科学等学科. 人们期待智能计算机研究取得突破性进展, 这将对信息技术以至整个科学技术和国民经济产生重大影响.

2.2 智能科学的体系结构

智能科学是一门更大的包罗其它智能学科的科学, 它由科学基础、技术和应用三个部分组成, 见图 3 所示, 每一部分又由许多学科构成.

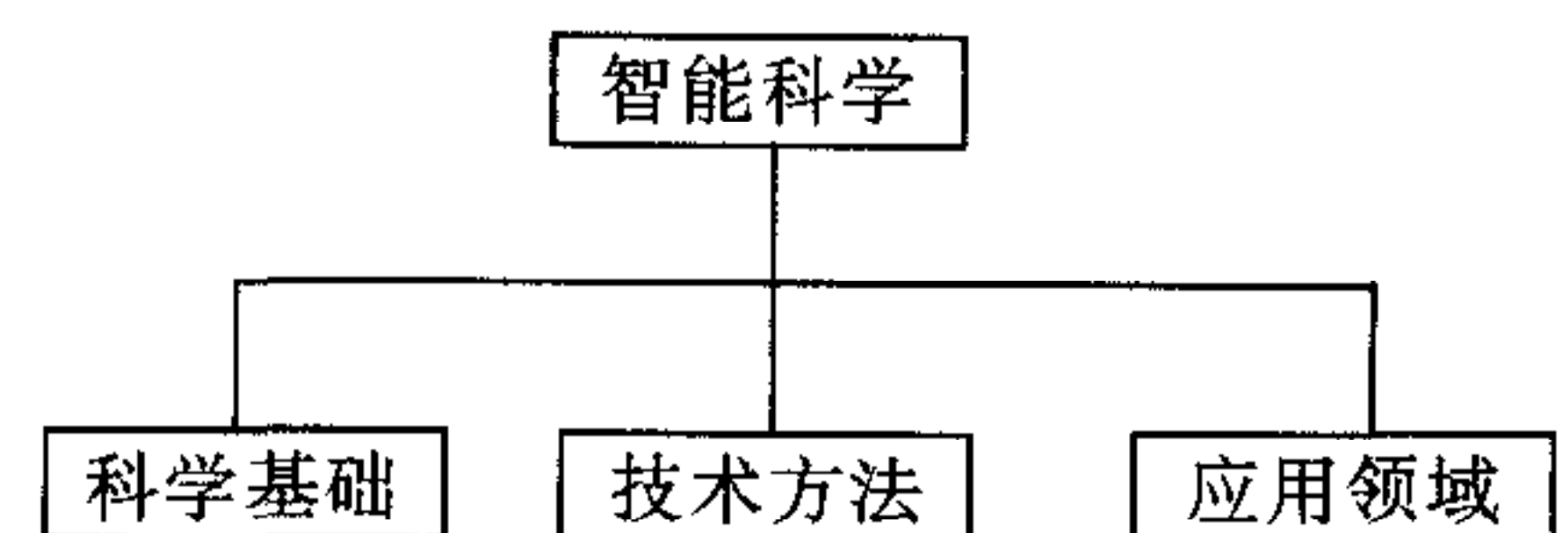


图 3 智能科学的体系结构技术方法

1) 智能科学的科学基础

- 信息学
- 人工智能(含人工生命)
- 系统学
- 复杂性理论
- 控制论
- 心理学

- 计算机科学
- 语言学
- 认知科学
- 2)智能科学的技术方法
- 知识工程
- 机器学习
- 控制工程
- 数据库技术
- 自然语言理解
- 数据挖掘
- 3)智能科学的应用领域
- 智能机器
- 智能 CAD/CAM
- 智能制造系统
- 智能交通系统
- 智能网络
- 智能材料
- 智能仪器、仪表
- 智能模拟
- 智能信息处理
- 智能多媒体
- 智能管理
- 智能反犯罪
- 统计学
- 仿生学
- 数学
- 多艾真体(MAS)
- 计算技术
- 模式识别
- 信息处理技术
- 虚拟现实
- 生命科学(含脑科学)
- 泛逻辑学
- 生物工程
- 规划与决策
- 系统工程
- 自动推理
- 计算智能
- 智能机器人
- 智能 CAE
- 智能计算机系统
- 智能医用仪器
- 智能通讯
- 智能汽车
- 智能测试
- 智能规划
- 智能监控
- 智能建筑与住宅
- 智能玩具

3 智能科学研究对象的一般特征

智能科学的研究对象具有下列一些明显的特征.

1)复杂性

智能科学要研究的对象,无论是自然科学和技术问题、社会和经济问题或是微观世界以至人的思维过程等都是很复杂或比较复杂的系统和很难或比较难以用传统方法处理的问题.钱学森院士等提出的“开放的复杂巨系统”概念,要把人类的智慧综合起来,形成一个称为“大成智慧工程”(metasynthetic engineering),就是一个非常复杂的巨系统,其复杂性可能是前所未有的^[9,10].

2)交叉性

智能科学及其许多分支都具有明显跨学科交叉特征.正是这种交叉特征,融合了相关学科的长处,犹如生物界的杂交培育出优势群种一样,创造出更具有生命力的新兴学科.

3)非线性

非线性经常伴随复杂性存在.智能科学要研究的对象或系统,一般存在有严重的非线性,无法用线形方程和一般数学方法处理,甚至很难用非线性微分方程描述和处理.

4) 拟人(仿生)性

智能科学要研究的对象或系统往往是拟人或仿生系统. 例如, 模拟人脑的思维活动和决策过程, 模仿昆虫爬行过程、鸟的飞行和鱼的游动过程等. 研究这类对象时, 需要借鉴脑科学和仿生学等学科的研究成果, 并与其它相关学科密切结合.

5) 不确定性

不确定性又称模糊性, 是指系统或问题含有不确定的结构、参数或其它信息. 如天气预报其下雨的可能性为 45.6%. 这个预报则属结论的不确定性. 智能科学研究的对象, 大多具有这种不确定性.

6) 不完整性

不完整性有别于不确定性, 是智能科学研究对象的又一特征. 所得到的对象系统或问题的相关信息是确定的, 但是不完全的. 对于具体问题来说, 在特定环境下, 无法得到更完全的信息. 智能科学应当能够依据不完整的信息, 通过非完全模型做出科学决策, 进行有效的处理.

7) 分布性

智能科学所研究的许多对象具有分布特性, 这一方面与系统的复杂性有关, 另一方面也与某些对象或系统固有的时空分布特性以及系统的并行性和交叉性有关. 分布性如果运用得当, 对系统进行分布处理, 有利于系统的信息集成和处理.

8) 非数学过程

智能科学的多数研究对象往往不存在传统的数学模型和已知算法, 无法进行建模和数值计算.

智能科学所具有的这些特征, 使得其问题求解难度要比一般非智能科学大. 已经提出了一些比较有效的智能化方法和技术, 用于处理智能科学面临的问题. 例如, 采用知识表示和推理技术, 以启发信息引导问题求解过程, 可使一些难题迎刃而解.

4 智能科学若干研究课题

在研究智能科学的学科体系时, 已经涉及一些研究课题或子学科. 下面着重讨论一些近年来特别活跃的与自动化有密切关系的智能科学前沿研究课题.

4.1 计算智能

计算智能(computing intelligence)包括神经网络、模糊逻辑和进化计算. 对神经网络、模糊逻辑的研究已有较长历史和较丰富的研究成果, 而对进化计算的研究则相对较晚, 并仍处在研究和应用的活跃期.

进化计算(evolutionary computation)是以达尔文的进化论(生物进化论)为依据来设计、控制和优化人工系统的技术和方法. 进化计算的方法有遗传算法、进化策略和进化规划 3 种. 进化计算已用于并行计算、机器学习、神经网络设计、电路设计、艾真体(agent)仿真和细胞自动机等领域.

4.2 分布式人工智能与多艾真体系统

1) 分布式人工智能

分布式人工智能(Distributed AI, DAI)是分布式计算与人工智能结合的结果, 它以鲁

棒性作为监测系统质量的标准,并具有互操作性,即各种不同的异构系统在快速变化的环境中具有交换信息和协同工作的能力. DAI 的研究目标是要创建一种能够描述自然系统和社会系统的精确概念模型. DAI 中的智能仅能在团体协作中实现,其主要研究问题是各艾真体(agent)间的合作与对话,包括分布式问题求解和多艾真体系统(Multi-agent System, MAS).

2) 多艾真体系统

在信息技术领域,尤其是人工智能和计算机领域,可把 agent 视为能够通过传感器感知环境,并借助执行器作用于该环境的任何事物^[11]. 图 4 给出 agent 的一种示意图. 例如,对于人 agent,其传感器为眼睛、耳朵和其它感官,其执行器为手、腿、嘴和其它身体部分. 对于机器人 agent,其传感器为摄像机、红外测距仪和声纳等,而各种马达则为其执行器. 对于软件 agent,则通过编码位的字符串进行感知和作用.

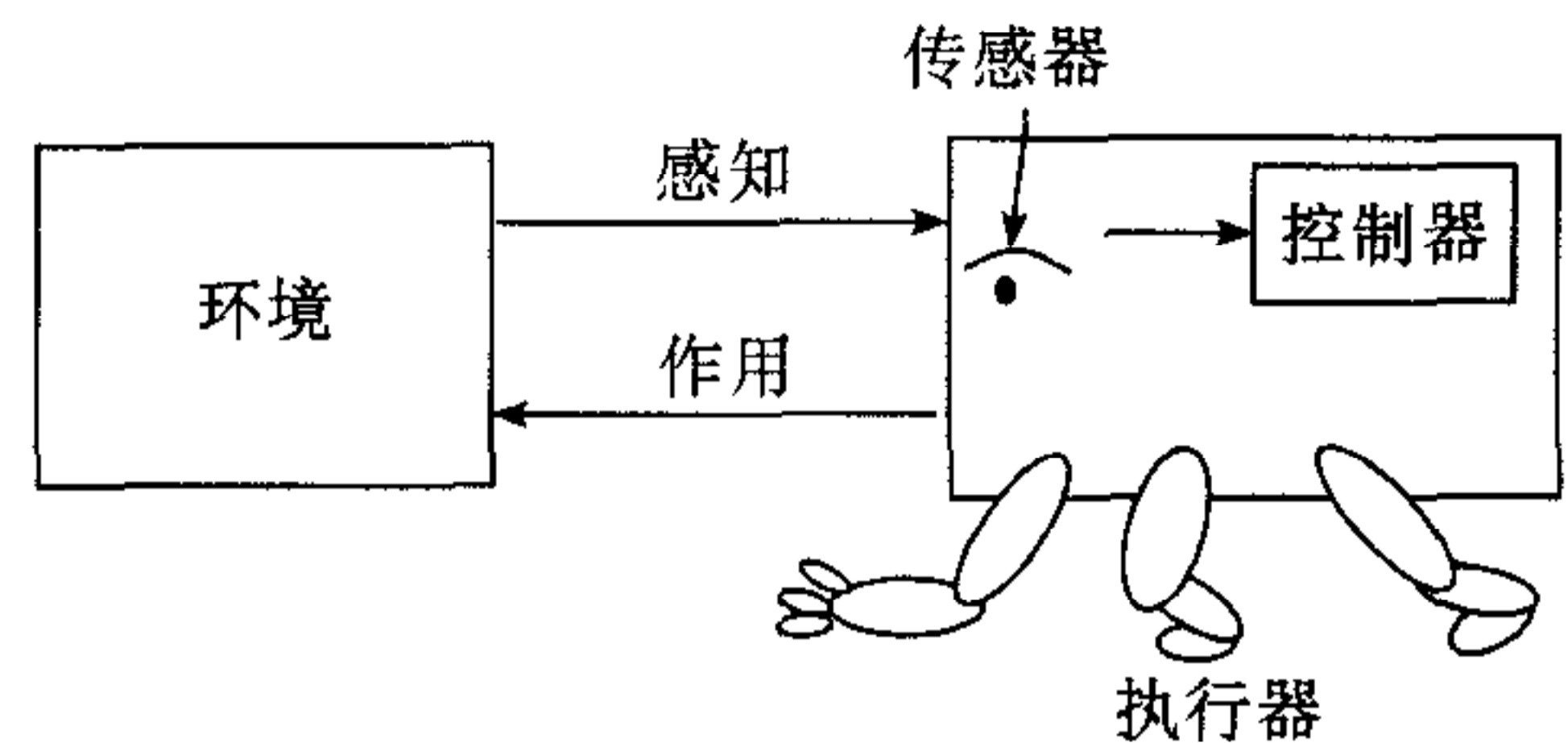


图 4 艾真体示意图

我们建议把 agent 翻译为“艾真体”,它以音译为基础,又兼顾了一定的物理含义,而且“艾”含有漂亮的意思. 我们将建议把 intelligent agent 译为智能艾真体,把 multiagent system 译为多艾真体系统.

艾真体与分布式人工智能一样具有协作性、适应性等特性. 此外,艾真体还具有自主性、交互性和持续性等主要特征. 可应用艾真体模拟现实世界和社会中人的理性行为,也能够对不断变化的真实环境进行行为规划、建模和预测,并借助通讯实现各艾真体间的协商和协作.

多艾真体系统(MAS)研究各艾真体间智能行为的协调,更能体现人类的社会智能,具有更大的灵活性和适应性,更适合开放和动态的世界,已成为研究热点,并已在自动驾驶、机器人导航、信息搜索、电力管理、交通管理等方面获得应用. 例如,软件艾真体的应用,将改变人机对话方式,并促进人工智能进一步走向应用.

4.3 知识获取与机器学习

知识获取是人工智能和知识信息处理的关键问题之一. 利用机器(计算机)实现知识的自动获取,即为机器学习. 而从数据库中获得知识为知识发现. 从大规模数据库的海量信息中提取需要的有用信息是一个具有挑战性的研究课题. 比较成功的知识发现系统已用于超市商品数据分析与报告、交互式大型数据库分析工具、自动分析大规模天气观测数据等.

4.4 人工生命

人工生命研究始于 1987 年,旨在用计算机和精密机械等人工媒介生成或构造能够表现自然生命系统行为特征的仿真系统或模型系统. 人工生命科学所研究的人造系统能够演示具有自然生命系统特征的行为,包括自组织、自复制、自修复等特征,以及形成这些特征的混沌动力学、进化和环境适应.

人工生命科学的研究涉及生命现象的仿生系统、人工建模与仿真、进化动力学、人工生命计算理论、进化与学习系统,以及人工生命的应用等. 比较典型的人工生命研究有计算机病毒、计算机进程、进化机器人、自催化网络、细胞自动机和人工脑等.

4.5 智能控制与智能自动化

自动控制科学已对整个科学技术的理论和实践做出了重要贡献,并为人类社会带来了巨大利益.然而,现代科学技术的迅速发展和重大进步,对控制和系统科学提出了更新更高的要求,自动控制理论与工程正面临新的发展机遇和严峻挑战.传统控制(包括经典反馈控制和近代控制等)在应用中遇到不少难题.多年来,自动控制一直在寻找新的出路,而实现控制系统的智能化是解决面临问题的一种有效办法.

人工智能的产生和发展为自动控制系统的智能化提供了有力支持.人工智能已促进自动控制向着更高的层次——智能控制发展.以计算机为代表的信息技术和系统技术,也为智能控制学科的诞生起到了重要作用.真正的智能机器及其控制,只有在人工智能技术和计算机技术巨大进步的基础上才能成为可能.越来越多的自动控制工作者认识到:智能控制象征着自动化的未来,是自动控制发展史上的又一次飞跃.宋健院士曾指出:“以人工智能和模式识别为代表的这门学科,必将为人类迈进智能自动化时期做出奠基性的贡献”¹⁾.在国际自动控制联合会第14次代表大会上,他还以“智能控制——超越世纪的目标”为题做了大会报告^[12],足以说明智能控制学科在自动控制科学发展上的重要地位.

值得高兴的是,美籍华人科学家傅京孙院士由于对智能控制学科的创造性贡献,已成为公认的国际智能控制的先驱和奠基者.我们炎黄子孙中的控制工作者,有责任继承他的未竟事业,为推动智能控制的进一步完善和发展做出新的贡献.

智能控制已发展出一些重要分支,包括递阶控制、专家控制、模糊控制、神经控制、学习控制、进化控制在内的智能控制系统都已初具理论框架,并获得越来越广泛的应用.智能控制的理论和方法必将进一步发展成熟,应用领域必将进一步扩大,智能控制和智能自动化必将拥有更加美好的未来.

4.6 智能机器人

宋健院士认为,机器人学的进步和应用是20世纪自动控制最有说服力的成就,是当代最高意义上的自动化^[12].

以控制理论的反馈概念为基础的机器人学,尽管不是建立在人工智能主流理论之上,但却可把它归于人工智能的行为主义或控制论学派.当布鲁克斯(Brooks)推出的六足行走机器人在20世纪90年代中期轰动人工智能和自动控制界,成为人工智能行为主义学派的代表作时,控制论学派已存在几十年,并一直指导机器人学的研究和发展,影响了许多人工智能研究者.机器人化(robotization)已成为工业化和自动化的一个重要手段.随着机器人学的发展,智能机器人日益受到重视,应用也日益普遍.智能机器人在控制、规划、导航、传感,以及应用等方面都有不少新的研究成果.我国的智能机器人研究已取得重要成果,并在水下机器人等领域跻身国际先进水平.我国的智能机器人技术已开始从跟踪研究转向自主创新开发,争取在国际上拥有一席之地.

智能机器人的进一步发展面临诸多问题的挑战.除了传统的机器人学技术外,面对可能制造出真正的人工人(artificial man)或克隆人的现实,机器人学工作者不得不对机器人学的一些根本问题进行重新审议与研究.到底什么是机器人和智能机器人?机器猫和克隆羊是否都属于机器人范畴?机器人的进化和人类的进化是否还有本质差别?机器人智能与人类智能是否能够相提并论?机器人与人类的未来关系会不会发生根本性变化?机器人学和智

1) 宋 健. 给蔡自兴教授的信. 1988

能机器人学科是研究什么的?^[13]所有这些问题都需要展开更广泛深入的讨论,并取得共识和得出结论,保证 21 世纪机器人学的继续健康发展,让机器人进一步为人类造福,成为人类永恒的助手和朋友。

4.7 其它学科

在讨论智能科学的学科体系时,已给出许多相关学科.本节着重探讨了一些与自动化领域关系比较密切的一些课题.还有不少这类课题,如集成人工智能(Integrated AI)已成为人工智能及相关学科的一个重要发展趋势.人工智能的符号主义、连接主义和行为主义三个学派的思想已逐步走向融合集成,往往在一个系统上同时反映出 2~3 家学派的理论和方法.例如,在一个机器人系统上同时应用人工神经网络和反馈控制,并采用专家系统推理方法,就表明连接主义、符号主义和行为主义共存于同一个系统中。

另一个相关课题是量子计算(quantum computation)和量子信息处理.我国已把这方面的研究列入自然科学基金重要研究课题.量子计算研究的突破将诞生量子计算机,实现电子计算机与量子计算机、电子信息处理与量子信息处理并存的局面,将对国际科技和经济产生不可估量的促进作用.此外,生物信息处理与计算也是一个崭新的相关研究课题。

5 工业化、信息化、智能化与自动化

当人类把比较初级的生产技术(如杠杆装置和动力)用于一个过程时,就实现了该过程的机械化.而自动化则包含更多的内容.当反馈信息自动地引起机器进行调节并使之重新达到正常状态时,自动装置才实现了自动化.通过机械和动力,实现工业过程的机械化,就是工业化,或初级工业化;而借助控制技术和系统方法实现工业过程的自动化,就是工业自动化或自动工业化.应用信息技术改造工业自动化领域和传统产业领域,实现信息工业化,促进工业生产的跨越式发展.信息工业化是更高级的工业自动化.采用智能科学技术,包括智能信息技术、智能控制技术和智能系统方法等,把信息工业化提升到一个更高的水平,实现智能工业化和智能自动化,则是当代工业化应当追求的最高目标.智能工业化为高级工业化注入了新鲜血液,将为保持经济效益、社会效益和环境效益的高度统一做出特别贡献.图 5 自底向上表示工业化的发展进程和发展水平,并给出了工业化、信息化和智能化的相互作用。

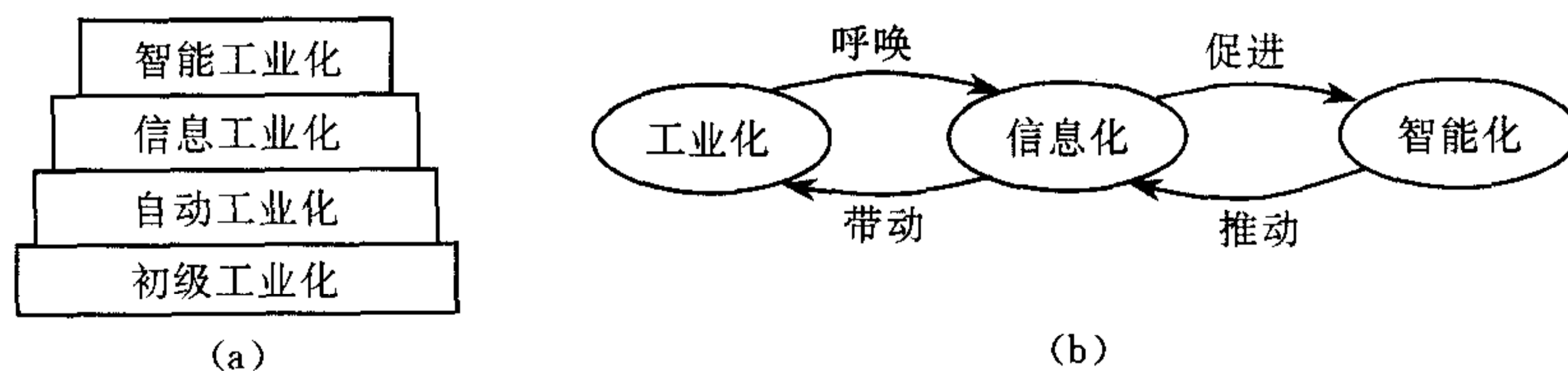


图 5 工业化、信息化、智能化与自动化

6 结束语

控制科学和自动化技术已为人类文明做出辉煌的贡献,已成为现代科学技术的一个关

键学科,并将为人类做出新的更大的贡献.本文提出的智能科学的学科体系和研究对象特征以及若干研究课题的发展概况,从一个角度反映出自动化学科发展的新高度,表现出建立智能科学新学科的愿望.

智能科学的出现既是科学发展的必然,也是时代的要求.全球经济一体化和我国加入世贸组织,要求我们注意创造和保护知识产权,培养和保护知识产品和高知识人才.有知识才有力量,缺乏知识的劳动大军和没有知识产权的产品今后不可能创造巨大财富.没有知识产权的民族只能购买和使用他人的产品.拥有智能就拥有更高层的知识,能够培育出更有智慧的人才,创造出更先进的科技和更强大的综合国力.“人智慧则国智,科技强则国强”就是这个道理.我们必须充分认识到知识创新和技术创新的重要性,再不能老是搞“跟踪”了.勤劳智慧的中国人民一定能够成为知识的主人,成为创造知识产权的主力.在研究和制订我国自动化领域发展战略时,一定要把发展智能自动化摆在重要的战略位置.

“理解人类认识与智能的机制是人类面临的最困难和最复杂的课题之一.人工智能学科的研究,与生物学和心理学等研究结合,将使我们进一步解开人类智能机制之谜.”^[14],李衍达院士的这段精辟论述正是对智能科学说的.

智能科学任重道远,其前景十分美好.能够创造智能机器的现代智能人类一定能够在新世纪谱写智能科学的新篇章.

参 考 文 献

- 1 蔡自兴,徐光祐.人工智能及其应用.第2版.北京:清华大学出版社,1996
- 2 Wiener N. Cybernetics; or Control and Communication in the Animal and the Machine. Cambridge, MA: MIT Press, 1948
- 3 Fu K S. Learning control system and intelligent control system: An intersection of artificial intelligence and automatic control. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1977, **16**(1): 70~72
- 4 Saridis G N. Intelligent robotic control. *IEEE Trans. Autom. Control*, 1983, **28**(5): 547~557
- 5 张钟俊,蔡自兴.智能控制与智能控制系统.信息与控制,1989, **18**(5): 30~39
- 6 Cai Zi-Xing. Intelligent Control: Principles, Techniques and Applications. Singapore: World Scientific Publishers, 1997
- 7 蔡自兴.克隆技术挑战智能机器人技术.高技术通讯,1997, **7**(11): 60~62
- 8 蔡自兴.面临挑战的智能机器人技术.机器人技术与应用,1997, (4): 2~4
- 9 戴汝为,王 珏,田 捷.智能系统的综合集成.杭州:浙江科技出版社,1995
- 10 戴汝为.人-机结合的大成智慧.见:第二届全国智能控制专家讨论会论文集,北京:1994. 52~57
- 11 Russel S J, Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. New Jersey: Prentice Hall, 1995
- 12 宋 健.智能控制——超越世纪的目标.中国工程科学,1999, **1**(1): 1~5
- 13 蔡自兴.机器人学.北京:清华大学出版社,2000
- 14 李衍达.人工智能及其应用.第2版.北京:清华大学出版社,1996

蔡自兴 中南大学信息科学与工程学院首席教授,博士生导师,纽约科学院院士,兼任中国人工智能学会副理事长及智能机器人学会理事长、中国自动化学会理事等职.主要研究方向为人工智能、智能机器人和智能控制等.

贺汉根 国防科技大学机电及自动化学院教授,博士生导师.从事人工智能、模式识别和机器人学等研究.