



关于智能控制的几个问题

黄琳*, 杨莹, 李忠奎

北京大学工学院力学与工程科学系, 北京 100871

* 通信作者. E-mail: hl35hj75@pku.edu.cn

收稿日期: 2017-12-13; 接受日期: 2018-02-28; 网络出版日期: 2018-08-08

国家自然科学基金(批准号: 11332001, 61473005, 61633001)资助项目

摘要 本文系统地介绍了人工智能的起源、发展和研究现状, 并从控制的角度, 阐述了人工智能在控制系统中应用时可能遇到的问题以及带来的挑战和机遇. 强调了智能算法和仿真在智能控制中的重要性, 指出智能控制的核心当是以人工智能的方法来实现的控制算法. 论述了人工智能和传统控制的关系, 指出传统控制与智能控制不应互相排斥而是结合, 应认真研究智能控制与传统控制各自的优缺点与适用条件以做到优势互补. 最后, 就新智能控制方法的提出、智能控制仿真平台的设立, 以及多学科交叉联合研究中心的建立等方面, 提出了新时期下智能控制研究的几点建议.

关键词 人工智能, 智能控制, 控制算法, 仿真

1 智能控制的内涵

智与能这两个词在中国早就出现, 但智能这个词只是近 30 年才有的. 按字面解释, 智指巧用而能则指能耐, 泛指功能、技能与能力. 西方智能常用 intelligence, 按 Websters 字典的解释为 “The ability for perceive logical relationships and use one’s knowledge to solve problems and respond appropriately to novel situation”. 而针对计算机的解释为 “Capability of performing some functions usually associated with human reasoning etc.”. 因而 intelligence 的理解更接近属于人的思维的一部分. 但当 intelligent 在形容算法 (algorithm) 时实际上已包括了人类受自然界演化的启发而建立起来的行之有效的算法. 而人们在讨论一些智能材料时有时并不用 intelligence 而采用 smart, 这表明目前在什么叫智能上无论是国内或国外并未达成通用的唯一的解释, 而处于多义多释的情况, 这可能是一切新学科出现的共性. 就控制而言我们宜于将智能的理解更广一些, 这是基于从信息科学的层次. 控制器的设计本身是控制算法的设计, 因而智能控制的核心自然是指具有智能特征的控制算法, 而算法自然应包括仿人思维的 and 自然界演化的. 人工智能在英文中常用 artificial intelligence, 就是指用人工的办法实现的智能, 在今天它主要体现在用计算机来实现这一点上. 因此智能控制其核心当是以人工智能的方法来实现的控制算法.

引用格式: 黄琳, 杨莹, 李忠奎. 关于智能控制的几个问题. 中国科学: 信息科学, 2018, 48: 1112-1120, doi: 10.1360/N112017-00276
Huang L, Yang Y, Li Z K. Thoughts on intelligent control (in Chinese). Sci Sin Inform, 2018, 48: 1112-1120, doi: 10.1360/N112017-00276

控制科学与技术是针对自动控制系统研究、设计、实验、运行中形成的科学与技术,是自动化科学与技术的一个重要部分.随着科学的发展和技术的进步,系统的复杂程度越来越高,工作要求也日益多样化、综合化与精确化,这样越来越多的先进的技术特别是信息技术应用于控制系统,这使得控制系统在很多情况下不再是原有的结构相对简单、控制目标单一的以反馈为主要特征的单回路控制系统,原有的控制理论、方法在新的形势下不能适应要求,这为人工智能的方法与技术更多地融入控制系统中来并发挥日益重要的作用创造了条件和提供了机遇.

如果说1936年图灵(Turing A M)建立自动机理论和随后在1950年发表论文 *Computing machinery and intelligence* 时,人们还认为这是一种科学的理想,并不能看清其实现的途径和发展的规模.在经历了半个多世纪的发展后,他的这种人工智能的思想,已经大大地发展成为了信息领域的一个充满生机、日新月异的领域.人们预测人工智能已经与纳米技术和基因技术并列为本世纪最具影响的三大尖端技术是很有道理的.

科学的成就首先是具体的,在发展到一定阶段后才可能形成新的理论框架.位于美国的 Santa Fe Institute 从事的复杂性研究首先揭示了一系列实际存在的复杂性现象并从这些现象的研究中提炼出一系列不同于常规的新型的有时很有效的算法,开创了智能算法的一片天地,使很多过去看来十分困难的计算成为了可能,显示出一种独特的优越性.

在我国由于信息科学技术总体上与世界先进国家差距不算太大,经过这几年的发展,在一些领域已经处于领先地位.人工智能作为信息科学一个新的重要领域,其发展就自然被上升到国家发展战略的高度进行考虑.

2014年6月9日,习近平在两院院士大会上指出:“由于大数据、云计算、移动互联网等新一代信息技术同机器人技术相互融合步伐加快,3D打印、人工智能迅速发展,制造机器人的软硬件技术日趋成熟,成本不断降低,性能不断提升.军用无人机、自动驾驶汽车、家政服务机器人已经成为现实,有的人工智能机器人已具有相当程度的自主思维和学习能力……我们要审时度势,全盘考虑,抓紧谋划,扎实推进.”

2015年在12届人大三次会上,李克强在政府工作报告上讲:“人工智能技术将为基于互联网和移动互联网等领域的创新应用提供核心基础,未来人工智能技术将进一步推动关联技术和新兴科技、新兴产业的深度融合,推动新一轮的信息技术革命,势必成为我国经济结构转型升级的新支点.”一方面是国家对人工智能的关心与重视,另一方面是控制科学发展面临的巨大挑战,这两者的碰撞意味着发展智能控制的大好时机的到来,我们应紧紧抓住这个机遇,迎头创新,使我们能在新一代控制科学发展上占据制高点,从而在一些原始创新上取得决定性的进展.

2 人工智能是一个很大的领域

人工智能在今天已经发展成一个很大的领域,这个领域的几乎所有分支都与自动化有着千丝万缕的联系.这种联系既有为自动化服务的智能元件与技术,也有与自动化技术结合在一起形成的系统.人工智能从功能上分大致可以有:

- 感知类. 视觉、语音识别等.
- 信息提取、理解与鉴别. 指纹、人脸识别,虹膜、掌纹识别,搜索功能,语言图像等的理解,模式识别等.
- 推理决策及其实现. 机器证明,自动程序设计,智能控制,自动组织、管理、规划与决策等.

- 与自动化结合的系统形成了一系列新的应用领域. 例如操作机械手、服务型机器人、智能安检系统等.

从广义上理解今日的控制, 已经是一个复杂、多结构、多尺度、多模式混合的系统, 而控制的要求已不再单一, 目标多样且可能互相制约, 这预示控制系统的新模式将呈现出将决策、管理、通信与控制一体化的趋势, 因而智能与控制的结合就有着一种广义的理解. 如果控制只是原有动态过程的控制, 这样智能控制就具有明确的但相对狭义的定位. 我们在现阶段, 当人工智能与控制的结合研究还在初级阶段时, 并不宜将其划分得十分清晰, 而随着学科的进一步发展, 其中的差异可能会更不重要, 人们可能更关注广义的更为复杂的智能控制系统. 从研究的角度, 正确的步骤自然应该是首先弄清狭义的智能控制, 进而在此基础上扩展为智能自动化或广义的智能控制. 无论是智能自动化还是智能控制, 它们都是由两类技术科学的学科结合而成, 因而其本身的发展必将符合技术科学的发展规律. 而其结论的科学价值首先是在科学的前提下能用和好用, 这里科学性自然不是指数学的公理体系与形式逻辑的推演.

研究人的智能的形成可以看到这是由人的学习过程而形成的. 人类的学习一般可以分为两类, 首先是继承性的学习, 这是指人从小开始通过大人的说教、上学、读书以相当快捷的速度将父母、他人乃至社会长期积累得到的经验、知识等变成自己的认知资源. 这种学习好坏的标志常表现为记性好、想得起来、举一反三乃至用时就能想起. 这种继承性学习在计算机上则归结为建立专家库、数据库、知识库和规则库等. 在这些库中存储了所需要的各种资源, 而作为人工智能必须能灵活方便地从这些庞大的存储中找到自己所需的信息, 这就要求系统具有搜索、对比、归类、分析、比较、寻优等功能, 以便快、全、准地寻求相关信息和具有一定的信息加工能力, 同时对有用的信息分析、存储和更新等.

另一种学习过程是一种自主式的学习过程. 这个过程形成智能是通过不断迭代改进形成的. 它通过自身的感知, 对确定要做的事 (或目标) 进行分析确定达到目标的策略. 将每次结果进行记忆并与原有的进行比较以便更新, 这是一个不断改进以达到目的的过程. 这种学习过程对人类来说有些是通过大脑的思想过程, 有些只是在神经系统乃至神经系统的下游就可以完成, 甚至有些可以形成一种反射机制. 虽然人类社会经过几千年的历史积累已经形成对物理、化学、生物与生态的很多基础性认识并以继承性学习的方式传承下来, 但这些自主式的学习可以完全不依赖于这些积累而自主从无到有地学习并形成一种智能. 例如杂技团的演员在顶竹竿时, 他一般并不清楚顶竹竿的动力学在一些合理的假定下可以用倒立摆的方程进行描述, 自然他控制竹竿的动作也不是基于倒立摆方程设计的, 而是通过反复训练学习以掌握顶竿的本领.

人类的智能就是由上述两种学习方式 (继承的和自主的) 经历长时间的发展过程而形成的.

针对自主式学习的过程, 人们一开始用计算机建立一些计算单元来模仿人的神经活动, 即用人造的神经元形成网络来实现人类或动物个体的相关活动. 由于构成神经元的单元是一种非线性元件, 因而将神经元组合在一起, 就能形成联想功能与学习功能. 人们利用这种功能可以创造出不少具有智能特征的部件, 特别将神经元组成多层神经网络可以将学习功能深化以便充分利用计算机容量大和速度快的巨大优势, 从而弥补人类在大容量的博弈智能方面的不足. 最近出现的 AlphaGo 战胜围棋世界顶级高手是人工智能的杰出表现, 它一方面采用多层神经网络进行深度自主学习, 同时它所用的棋谱正是继承了数百年人类在这方面的智慧的结晶.

用计算机进行学习与形成智能, 不仅可以利用仿人神经元的多层结构, 而且可以利用自然界, 包括物理、化学、生物与生态的演化过程来构建人造的智能算法. 这方面有针对局部搜索可能导致局部极值而改进的模拟退火、遗传算法、禁忌搜索以便寻求在一定条件下如何能达到全局最优的方法. 这些方法并不是万能验方, 而是对一些问题有效而对另一些则可能完全无效的方法. 作为遗传算法的扩

展, 进化计算成为了智能算法中一个重要的组成部分. 这种算法通过借鉴自然界优胜劣汰的思想建立起来, 在一段时间里属于它的遗传算法、进化策略和进化编程并没有引起人们的关注, 后来发现它们在解决一些著名的疑难问题中显示出特别有效的能力才引起了业界巨大的兴趣. 随着计算机处理问题在容量和速度上的飞速发展加之遗传编程的出现, 使得这 4 个基于同样思想但又各具特色的分支, 互相碰撞沟通使得进化计算发展迅速并应用广泛.

von Neumann 在 20 世纪 50 年代发明元胞自动机, 它的出现不同于有严格定义的物理方程或函数确定的动力学系统, 它是指在一空间时间均离散的系统, 由大量元胞通过简单的相互作用而使系统发生演化. 由于元胞自动机中的单元的多样性以及相互作用的不同, 这种模型可以成功地模拟生物群体活动的演化过程, 并在物理、化学、生物与生态和信息科学的很多领域内取得成功应用.

上述智能算法在应用到一些科学问题时具有一些共同的需要认真研究的问题, 这表现在:

(1) 如何确定其适用范围, 即使用什么类型的智能算法到什么样的实际系统是比较有效的, 这种适用性的研究的目的是弄清楚特定的智能算法的适用范围与条件, 在方法上首先应该利用计算机进行反复实验而不是严格的数学证明作为主要研究手段.

(2) 这些智能算法常常与系统的复杂性研究有关, 开始于 20 世纪 80 年代的关于系统复杂性的研究, 其基本思想为超越还原论这些对研究工作长期的影响. 其讨论的对象是一定量非线性元件之间由于相互作用而出现的例如系统无序到动态有序的现象或从混沌到有序的现象、物质进化过程的不可逆性及其机制、复杂系统的适应性特征等. 对这些现象的出现所进行的研究在方法论上与传统的数学、物理等科学研究不同, 需要一种新的思维方法和理论, 而这些方法与智能算法有时有相当好的契合.

(3) 人们常将具有严格定义的物理、化学、生物界确定的方程、函数或泛函作为对象, 具有十分确定的数学公式而建立起来的算法称为传统的算法. 智能算法的特点则是不以确定的方程、函数或泛函为对象, 也不具有确定的数学公式, 而是根据规则之类的有时具有不确定性的方法利用计算机作为手段进行计算的, 因而智能算法是否有效主要不是依靠建立在公理体系上的严格的数学证明, 而是更接近于其他自然科学研究的方法论, 即以计算运行来对算法进行实验并从中寻求带规律性的东西来改进计算. 这也是智能算法更多是由物理学家而不是传统意义下的计算数学家创立的原因. 在相对简单的问题中, 传统计算与智能计算之间的差别比较清楚, 但对于日益复杂的大规模计算可能会呈现一种你中有我且我中有你, 十分复杂交叉的情况.

在人的学习与研究过程中常常会出现灵感这一现象, 王国维借辛弃疾的词《元夜》中的词句“众里寻她千百度, 蓦然回首, 那人却在灯火阑珊处”来形容这种百思不得其解突然就像得到上帝的启示一样找到了解答的现象. 复杂性研究的人将此种现象归结为思索过程中的涌现行为并认定这是非线性复杂性引起的, 但至今在计算机仿人的思维中并未能揭示或复现这一有时非常有价值的过程.

3 经典控制与智能控制

控制界在近年来的共识认为控制器的设计从信息科学的层面看, 其核心是控制算法的设计, 控制算法主要根据系统的输入与输出信息、系统及其可能产生变化的信息、系统工作环境的信息, 以及对系统所提任务和要求变化的信息, 经过采集、加工、分析、计算以形成系统能接受并可据此进行工作的控制命令. 控制命令的形成, 一个是对形成命令所需信息的齐备, 这中间首先是对控制对象的认知, 即对系统进行建模, 而对无论是输入、输出、环境变化等一系列信息的认知都涉及到信息采集与加工、信息的传输等. 无论关于建模等为控制命令的形成所需的信息准备工作, 还是在信息相对齐备后形成控制命令的过程, 都包含了各种必须行之有效的计算机算法. 这些算法由于问题的特点, 既可以是传

统的也可以是智能的, 这自然取决于使用这些算法的具体条件与要求.

从控制器研究与应用的历史分析, 人们发现要对系统进行控制, 传统的想法是必须首先对系统有所认识, 但这种认识也可以基于对系统的工作原理及其性质的分析, 而未必一定要用数学方程表述出来. 1788 年 Watt 针对蒸汽机制造出离心调速器并未真正从方程和稳定性分析出发, 直到 1868 年物理学家 Maxwell 针对离心调速器和机械钟表的擒纵机构写出“论调节器”一文才首次在上世界上利用理论工具对这两类系统进行了分析.

自从 20 世纪开始, 先是机电工业, 继之是交通航空等工业的发展, 按当时系统工作的条件与要求, 促使以反馈为核心思想的单回路单变量控制系统得到发展, 而积分变换及其在电力系统中所适用有效的运算微积的方法使在系统中常用的微分、积分和经过微分方程等的运算和相当复杂的元部件联结的关系可简单地化成传递函数的代数运算并用简明的标上传递函数的方框图表示出来, 这就使得以传递函数或频率特性为主要工具并有很好的工程直观的经典控制理论得以发展成熟, 而这一方法在理论上并无特别深刻的理论内涵, 但却能十分有效地解决当时控制工程上提出的众多问题, 并形成了一套系统地解决控制器设计的方法, 当时的实践表明该方法的有效性. 而这一理论方法由于只能处理单回路控制系统, 在面对日益复杂的控制对象时迎来了挑战.

这一方面最著名的挑战就是关于卫星的姿态控制, 由于描述卫星姿态的 3 个 Euler 角在动力学上存在非线性的耦合效应, 这使它不能像亚音速飞机在巡航飞行时那样实现解耦, 于是采用任何线性单回路控制的技术处理大范围姿态控制均被认为是不合适的. 卫星自然只是指出建立在单回路系统之上的调节原理不再合适的一个例子, 面对这一挑战应运而生的就是多变量和非线性控制的理论的出现, 这个理论的特征就是模式的一般化, 系统性能要求也只能以一般化的方法给出. 正由于此立即吸引了大量数学家的兴趣, 这种兴趣使得控制理论特别是控制的数学理论取得了极其丰富的成果, 自然这些成果中确有不少对控制工程起到了促进作用, 但从总体上讲, 数学上有价值的成果常常与工程实际的需求差之过远. 与此同时由于计算机技术的突飞猛进, 为控制工程实际工作者提供了新的更加有效又便捷的工具, 把控制工程实际的传统且行之有效的方法利用计算机使其变得更加方便好用. 使得控制工程的工作者对控制理论一方面感到高不可及和生疏陌生, 另一方面感到这些理论又完全不能满足实际需求而日益对其疏远与漠不关心. 另一方面控制理论的研究者从数学的兴趣出发, 自认为这种兴趣是符合实际要求的或根本不屑讨论实际要求, 另有些人由于自己实际所受的教育与训练使其根本不具解决实际问题的能力退而只能研究理论, 这种分离促使控制工程与控制理论这两个本应紧密联系的人群渐行渐远, 各自找到自己发挥聪敏才智的地方并都有满意的获得感, 以致部分控制应用的专家针对控制的很多理论无法应用直言不讳地宣称: “控制理论这样搞实际上已经走到了它的尽头”.

控制系统从本质上讲具有两重性, 一方面它是一个信息系统, 其中输入输出关系主要依靠信息及其间关系加以描述, 但另一方面它又是实实在在的物质系统, 物质系统的运转必然带有这类物质系统的特性, 包括它能顺利工作的环境、客观必须遵守的约束和限制、组成系统的元部件所具有的能力等不是纯粹信息层面的因素. 就是从信息层面考虑系统中信息之间的关系的实现时也并不是都能用简单的数学关系式进行刻画, 因为信息本身都有载体而载体本身又都是物质的.

从数学角度研究控制如果不是针对控制系统的客观实际, 往往只是在数学上有意义而对控制的真正实现却帮助很小, 其根本原因之一在于他们没有习惯也没有能力去思考在他们所研究的模型基础之上输出信息如何能有效获取以及输出信息怎样才能有效地形成控制命令并有效地对系统发生作用, 而仅把兴趣放在针对模型所能得到的某些与实际系统设计与运作并无直接关系的一些性质上. 这方面一个突出的例子表现在由于包括航天需求在内考虑的弹性体控制问题上, 一方面从事实工作或力学的人总把兴趣集中在振型分析基础之上的方法, 由于这不仅可与物理实验、仿真等相结合而且易于必要

信息的获取,而从事理论研究的则更乐于将其视为典型的分布参数系统的理论,而且所用数学工具由半群理论直到 Riemannian 几何,文章很多真正能用的却很少.另一个制约理论与应用结合的因素是数学从一般式模型得到的一般化的概念与实际要求存在很大的差异,数学能证明的性质往往是一种定性的性质例如极限与收敛,这在控制理论的很多地方均依赖其说明方法的优点,例如参数辨识与估计的收敛性,系统中运动的渐近稳定性等.但这种定性结论对于控制工程中的定量要求并不能直接给出答案.数学对于问题能否求解往往给出的证明是一种存在性的证明,无论是收敛性还是存在性,在人们研究控制问题时均具有重要的指导意义,但对于控制工程说来,仅指明方向是不够的,人们更希望能给出具体的方法以保证落实到工程可以接受与可以用的程度,以及指出定量的结果.

数学的很多定理在比较简单纯化的情况下有明确的结论并且很多情况下均很方便地运用来证明控制科学中的结论,但随着控制系统复杂程度的增大,容量的扩展,使得这些方法在取得一定进展以后就陷入停步不前的状态.例如 20 世纪末控制理论上兴起的切换系统,人们希望这种理论能解决有关电网稳定运行的问题,对于发生在电网中可能的切换无法预知,于是这类稳定运行的问题在理论研究上就归结为多个系统存在公共 Lyapunov 函数的问题,而后者只有阶次很低时才有明确的结论,而这刚好是阶次很高的电网所无法接受的.另一个例子是神经网络的研究刚兴起不久,人们也企图利用已有的 Lyapunov 方法去讨论神经网络的性质,起初对于低阶的系统还是有一些进展,但对于后来发展起来的多种类的乃至多层结构复杂的神经网络企图再用严格但理想化了的数学理论提供启示实际上就成了天方夜谭式的愿望.

产生上面的问题并不能责怪理论数学与从事理论研究的数学家,因为任何一门学科的能耐都是有局限的,各个学科都有其成为学科的框架并有其能解决问题的范围,如果对学科提出超越其能起作用范围的问题和要求,那只能反省自己对该学科的定位是否恰当.上述分析表明控制科学的进一步发展必须在数学与计算机这两个支撑上更加依赖计算机的作用,不仅将计算机作为复杂计算的工具,而且应充分发挥计算机在人工智能上的巨大前景,使之介入到日益复杂的控制系统设计、运行、监控中来.当前一些数学家已经进入到这些包括大数据、搜索引擎及很多计算机智能领域,他们灵活地运用各种数学知识帮助解决计算机及相关智能问题,建立行之有效的算法,我们期待他们的合作在新一代的控制科学发展中发挥更好的作用.这种趋势说明了一个现象,即算法工程师特别是智能算法工程师今天不仅在人工智能的领域中担当重要角色,而且在相关的 IT 企业中已成为极重要的岗位.

4 人工智能为控制带来的机遇和挑战

传统的控制的做法总是在建模后根据模型与对系统的要求等设计控制器,然后将控制器接入闭环系统后再进行适当分析、仿真和调试后,系统就可以进行正常工作了,但由于系统越来越复杂,不少影响系统运行的因素并不是事前能够估计的,经常存在的各种干扰有时会因突发的原因而对系统产生较大的影响,这就使得一种不断建模、验模与控制过程同时进行的控制系统成为必然.这种建模与控制的一体化的趋势在建模只是重新确定系统参数的情况下已经有几十年预测控制研究的历史,而当今可能面临的问题是系统在相当陌生的环境下工作,此时可能要求系统对自身和环境能做出自主判断,也许会涉及到系统模型因大的重构而改变,使得这种一体化不仅必须在线考虑而且更为复杂与困难,这为主要依靠计算机与人工智能技术的在线解决提供了机遇与形成了挑战.

30 多年前关肇直和许国志两位先贤针对当时流行的大系统热就明确地指出:“系统规模大不是问题的实质,从理论上讲规模大的线性系统与规模较小的线性系统并无本质上的差异,问题在于非线性,而特别值得研究的是上层由运筹学决定而下层由动力学确定的复杂系统”.时间过去了 30 多年,这类

系统在工业界已经出现, 而且借助计算机已经进行了有效运行、管理与监控, 而对应的理论却仍在孕育之中. 后来出现的离散事件动态系统 (DEDS) 则并非遵循以时间为序的动态过程而是以离散发生的动态事件触发的系统, 这种系统本身的研究已经表明纯粹依靠严格数学远不如利用计算机研究有前途, 而当这种 DEDS 在实际应用中其下层往往是通常的动态系统, 这类混杂的系统的研究其解决途径无疑将主要依仗计算机及相应智能研究的进展.

长时间运转的系统难免会出现亚健康乃至病态的情况, 此时作为自主控制的要求就必须具有自诊断、自修复, 以及带病运行 (容错控制) 的能力. 此时关于在线系统重构与辨识成为必要, 这种情况并不都能简化用传统的方法解决, 有时需要进行智能式的诊断与处理, 于是我们就不得不对处于健康的、亚健康的、病态的系统一起工作并寻求恢复的局面, 这种局面也只能依靠计算机以及智能技术.

现代工厂常常是一个体系在运转, 而现代战争已经成为不同体系之间的对抗. 一个体系常常是很复杂的, 它是由多种模式构成的多重结构, 从时间与空间上都会呈现出多尺度的特征, 由于大的体系必然带来大量传感器的使用和通信成为系统中信息传递所必须的形式, 传感器的大量使用带来信息丰富的同时必然提出如何充分利用丰富的信息而提炼出最有价值的信息并经过分析与加工以产生控制、管理与决策的命令, 通信的进入使得原有控制系统中信息传递被假定为不受任何通道限制这一条件受到了挑战, 这是因为通过信道通信方式获取信息必然要受到信道容量和传递方式两方面的影响, 而这些影响在现代战争和现代工厂体系中是不能忽视的, 这表明这种管理决策、控制与通信一体化的体系, 无论是单个体系的正常运行还是体系间的对抗都将面临新的多方面的挑战. 正如一个复杂的社会常需要充满智慧的领导一样, 要控制这类体系的运转正常一定需要充满智慧的计算机系统, 而这就自然地召唤智能科技的进入.

千里之行始于足下, 面对如此复杂的系统控制问题, 不可能存在一个一劳永逸的良方妙药, 而必须针对每一个科学与技术问题逐个解决, 在此基础上再加以集成, 而在集成的过程中也会重新对原问题的解决提出新的挑战, 这自然是一个十分困难的任务, 同时也给予我们足够的发展空间去克服由于可能出现崭新局面而带来的困难.

5 对智能控制研究的几点建议

针对日益复杂的控制任务, 人工智能的进入有可能弥补原有控制方法的不足, 但人工智能与智能算法毕竟对控制来说仍然是一个需要认真研究的对象, 既不能拒之不用也不能一哄而上, 其中一些问题是必需认真考虑的.

(1) 控制的传统方法已经发展了近百年历史, 围绕这个方法已经发展了成套的理论、方法及仿真实验的手段, 这是一笔宝贵的资源, 而且过去的历史已经证明在很多相对简单的情况下也是行之有效的. 从控制应用的角度考虑问题应该谁好用谁, 但为了明确谁好这一点, 则应该在相对纯化的环境下认真研究智能控制与传统控制各自的优缺点与适用条件以便做到优势互补. 模糊控制在相当一段时间里受到非议的主要原因是他们说不清什么系统用常规控制做不了只能用模糊控制, 这实际上表明对于模糊控制的优点的阐述人们还常停留在思辨式的层次上进行表述, 而缺乏科学意义下的检验. 因此对于智能控制必须进行扎实的研究工作, 杜绝口号式、想像式或思辨式分析作为科学依据的做法, 真正发掘其优缺点与适用条件. 在控制系统设计进而运行上则应将智能的与常规的控制方法结合起来实现优势互补, 我们应认清一点, 并不是所有的智能技术都能用于控制, 也不是所有控制都一定要用智能技术.

(2) 由于智能的基础并不在于有确定模式下的数学推演, 而是同其他自然科学一样, 实验在其中起

到重要的作用,这种实验首先是在计算机平台上的实验,这表明智能控制理论从方法论上应与传统的控制理论研究有所区别,即不能依仗数学的严格证明而把数学的作用主要用于算法的设计上,对于智能控制的方法在提出思想以后首先是设计算法,然后在计算机上作信息层次上的实验,用实验来验证理论思维的正确性.

(3) 建立一个适合于智能控制研究的仿真平台. 搞控制理论的人常对什么叫仿真产生误解,认为按方程式设计好控制器然后闭合系统利用计算机算一个例子就叫仿真. 实际上仿真是指建设一个与真实世界相仿的体系,在这个仿真体系上进行仿真运算可行的控制器在接上真实的控制对象后就应有同等的效果,即仿真平台是模仿真实场景的用计算机构成的平台,在仿真平台中某些单元在用真实物理部件代替后也应可以正常工作,因此仿真与实验实际上包括计算机仿真、半物理仿真及实际接入系统的实验. 在控制工程中使用常规控制的方法时,这一系列仿真与实验已经配套成熟,在计算机仿真层次上也有专门的仿真机. 对于智能控制,类似的仿真装置也应建立起来. 对于仿真设备,首先要求的是建立仿真体系以保证实时性,并同时能对仿真结果的有效性有评估的标准与对应的算法,而且会进一步指出所用控制器改进的方向. 仿真领域已经有数十年的历史积累,而针对智能控制的依然不多,针对智能控制的仿真平台的建立对于有效地将人工智能用于控制领域具有不可替代的极重要的作用,这个仿真平台应该与传统的仿真平台能相容以使在实际应用中实现优势互补.

(4) 在工业实体中针对需求建立由计算机、人工智能、数学、控制和行业专业领域的人才组成的智能控制联合研究中心,担负发展新的智能算法、建立针对智能控制的仿真平台和将智能控制应用于所在行业的任务,在一定程度上实现资源共享并以此中心为基础建立智能控制的研究基地以真正落实智能控制的研究.

参考文献

- 1 蔡自兴. 中国人工智能 40 年. 科技导报, 2016, 34: 12-32
- 2 李人厚. 智能控制理论和方法. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999
- 3 李翔. 从复杂到有序. 上海: 上海交通大学出版社, 2006
- 4 李克强. 2015 年政府工作报告. 中国政府网, 2015. http://www.gov.cn/guowuyuan/2015-03/16/content_2835101.htm
- 5 Engelbrecht A P. Fundamentals of Computational Swarm Intelligence. Beijing: Tsinghua University Press, 2009 [Engelbrecht A P. 计算群体智能基础. 北京: 清华大学出版社, 2009]
- 6 黄琳. 中国学科发展战略: 控制科学. 北京: 科学出版社, 2015
- 7 Huang L, Peng Z X, Wang J Z. Control science: inspired by applications. Sci Technol Rev, 2011, 29: 72-79 [黄琳, 彭中兴, 王金枝. 控制科学 —— 与需俱进的科学. 科技导报, 2011, 29: 72-79]
- 8 Fu K S. Learning control systems and intelligent control systems: an intersection of artificial intelligence and automatic control. IEEE Trans Autom Control, 1971, 16: 70-72
- 9 Saridis G N. Intelligent robotic control. IEEE Trans Autom Control, 1983, 28: 547-557
- 10 Antsaklis P J. Intelligent learning control. IEEE Control Syst, 1995, 15: 5-7
- 11 LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. Nature, 2015, 521: 436-444

Thoughts on intelligent control

Lin HUANG*, Ying YANG & Zhongkui LI

Department of Mechanics and Engineering Science, College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China

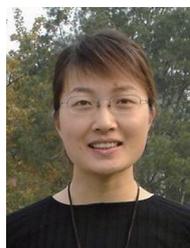
* Corresponding author. E-mail: hl35hj75@pku.edu.cn

Abstract This paper systematically introduces the origin, development, and the state-of-the-art of artificial intelligence, and from the viewpoint of control, elaborates the possible problems, challenges, and opportunities when applying artificial intelligence to control systems. We highlight the importance of intelligent algorithms and simulations in intelligent control, and emphasize that the core of intelligent control is the control algorithms constructed via artificial intelligence. We discuss the relations between artificial intelligence and the classic control theory. We further state that classic control and intelligent control do not conflict and thus should cooperate with each other. We should thoroughly investigate the merits, disadvantages, and feasible scenarios of classic control and intelligent control, to ensure that one can complement the other. Finally, we provide some suggestions on presenting novel intelligent control methods, establishing simulation platforms of intelligent control, and setting up multidisciplinary joint research centers.

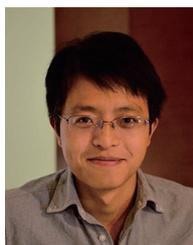
Keywords artificial intelligence, intelligent control, control algorithms, simulations



Lin HUANG received his M.S. degrees in mathematics and mechanics from Peking University in 1961. Currently, he is a professor with the Department of Mechanics and Engineering Science, College of Engineering, Peking University. His research interests include the stability of dynamical systems, robust control, and nonlinear systems. He is a member of the Chinese Academy of Sciences.



Ying YANG received her Ph.D. degree in control theory from Peking University in 2002. Currently, she is a professor with the Department of Mechanics and Engineering Science, College of Engineering, Peking University. Her research interests include nonlinear system control, numerical analysis, fault detection, and fault tolerant systems.



Zhongkui LI received his Ph.D. degree in dynamics and control from Peking University in 2010. He is currently an assistant professor with the Department of Mechanics and Engineering Science, College of Engineering, Peking University. His research interests include the cooperative control of multi-agent systems and networked control systems.