

人工智能行为主义方法研究*

183-190

康南生 方廷健

TF18

(中国科学院合肥智能机械研究所)

摘 要

本文在讨论人类行为和思维活动之间的密切关系基础上, 强调行为主义应成为人工智能学科的一个重要研究领域。本文还简要介绍了 Brooks 的动作理论和其实验系统, 以及近年来我们进行主动感知—运动行为研究的两个实例, 并通过比较分析, 提出了对高级行为形态研究的进一步设想和展望。

关键词 人工智能, 行为主义, 控制论, 主动感知。

1 引 言

在心理学研究历史上, Watson 于 1914 年提出心理学应是一门行为科学的观点^[1], 对传统的以实验分解构成意识元的内省法心理学研究作了尖锐的批评, 从而极大地丰富和推动了心理学的研究和发展。无独有偶, Brooks 于 1990 年提出无需表达和推理的智能行为的观点^[2], 对传统的以抽象思维为中心的人工智能研究方法进行了批判, 在人工智能界引起了极大的冲击和反响^[3, 4]。若能借此机会对人工智能近半个世纪来的研究成果和面临的困难作一深刻的反思, 无疑是有益的。Brooks 在文献[5]中作了这方面的工作。本文虽不完全赞同 Brooks 对传统 AI 方法所持的悲观和否定的观点, 但想强调行为主义的研究必将对人工智能学科的发展起着重大的推动作用, 而这一点恰恰被传统 AI 的研究者们所忽视。

本文的第二节将阐述行为和思维之间的密切关系, 在第三节中介绍 Brooks 的动作理论和行为方法研究, 第四节将叙述近年来我们对智能行为方法的研究和实验, 第五节讨论 Brooks 方法与我们的所谓主动感知方法的异同和启示。

2 行为和思维的关系

传统的人工智能学者普遍认为: 思维(即应用有用信息的意识活动)是人类智能的体现, 并试图以现代的计算机技术去模拟实现。今天人们逐渐意识到这种方法面临着三个目前还无法逾越的障碍和困难。第一, 由于生理学家们还不能提供人脑的真实思维模型, 从而使人对 AI 中的抽象、表达、推理及学习等方法的正确性产生怀疑, 事实上所研制的人工智能系统普遍呈现的知识越多, 越难于组织, 运行起来越笨拙的反常状态证实了这一点。对此人们感到必须在顺序的启发式的推理机制中(即逻辑思维模式)加入跳跃的联想式的思维机制(即灵感思维和顿悟思维模式), 而后者的模型还是个谜。第二, 从原理上来说采用串行的冯·诺伊曼式计算机无法模拟过程人脑的并行思维, 而并行性特点正是人类形象思维所具有

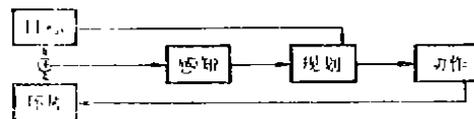
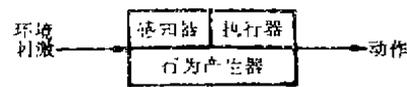
* 本文于 1991 年 12 月 20 日收到, 修改稿于 1992 年 5 月 6 日收到。

的本质,用串行或并发编程方法来实现人类并行思维活动过程,其本身就是不现实的。第三,以并行性为特点的联接主义目前仍然面临着优化性拓扑结构和快速收敛性学习算法等困难,因而人们期待着它与符号主义的结合将会产生一定程度上的突破。即使按照这种假想上的技术突破为基础建筑一个比较完善的智能系统,它也只能是一个抽象的静态结构,很难自适应外部世界的动态变化,而在这一点上,人类的智慧能力显示出突出的优越性。尽管如此,我们也不可否认,AI的某些技术进展,如专家系统、模式识别等取得一定的应用成果,但与人类智能相比,其层次之低是非常明显的。

对AI传统方法的反思,使人们不禁要问人类的智慧能力是如何产生和进化而来的。自然辩证法认为“劳动创造了人本身”^[6]。这就意味着劳动是人类适应环境,改造自然,完善自身的唯一途径,劳动能力是人类智慧的体现和结晶。劳动可分为脑力劳动和体力劳动,如果说脑力劳动是思维活动,那么体力劳动则是一种动作行为活动。因此人工智能既应包含基于思维的研究内容,也应包含基于行为的研究内容。根据存在决定意识以及意识反作用力的哲学观点,人工智能还应该研究思维与行为的交互关系。

著名心理学家皮亚杰在数十年致力于儿童心理研究的基础上指出“逻辑的根源必须从动作(包括言语行为)的一般协调中去探求”,“逻辑数理运算来源于行动本身,因为它是从行为的协调中抽象出来的结果,而不是从对象本身演绎出来的”^[7]。皮亚杰的观点表明:认知过程和结构(即形式思维模式)与感知—运动的行为是紧密相关的。这就给我们以启示:当基于思维的AI研究方法面临困难时,基于行为的研究方法或许会开拓一个新的研究前景,并可能酝酿着对思维研究方法新的突破。这也正是Brooks行为主义对AI学科所作的贡献。

Longman字典对行为主义(Behaviorism)的定义:对心灵活动的科学研究必须建立在有关行为动作和载体状态的可测量事实基础之上。这是属于心理学范畴的定义。可将其转义为人工智能中行为主义的研究方法和目标,是弄清楚系统生存和反应的本质,即系统在动态环境中行动的能力,对外界事物充分感知的能力,能维持生命和繁衍等的的能力,正是这些能力给智能系统的发展或进化提供了必要的基础^[8]。无机体智能机器的生存能力可理解为对动态外部世界变化的适应性反应能力。仅仅适应生存的行为称之为低级行为形态,若能通过学习、组织、恢复等来完善自己达到认识环境、表达感情行为等可称之为高级行为形态。前者一般是一种无意识的活动,可用图1来描述其行为元的结构,它是一种开环的被动感知—动作行为模式。后者都是意识的活动,可用图2结构来描述,它是一个闭环的主动感知—动作行为模式。这里要指出的是,实际生命系统的行为模态并非上图中各独立行为元的简单组合,而是具有更加复杂的交互联系,这正是行为主义高层次的研究内容。



3 Brooks的动作理论和我们对其进化的猜想

3.1 Brooks的动作理论和实验系统

Brooks对人工智能研究所持的看法是,首先要弄清楚生命系统在复杂的自然环境中所具

有的生存和反应能力的本质，然后才有可能进一步探讨人类高水平的智能问题。这种本质就是适应自然环境（而不是结构化的工程环境）的感知—运动行为模式。为此，Brooks 在基于动作分解原理的动作理论指导下建立了一个由 150 多个传感器和 23 个执行器构成的六足行走机器人（mobot）实验系统，其系统结构和运行机制有如下特点：

- ▲分布性——无中心环境模型，无中心控制轨迹。
- ▲模块性——无感知器、中央控制器和执行器的界限。
- ▲进化性——采用行为竞争机制的网络系统可被增加更多的特殊行为模块节点所改善。
- ▲动态性——将环境作为行为（或过程）模块间的通信媒介。
- ▲实时性——用有限状态机取代传统的信息处理单元。

Brooks 的动作理论的核心思想是在动作分解原理指导下构造智能行为系统，而不是传统的以功能分解的指导原理。这样就能用简单的有限状态机方法将感知器和执行器有机地集成，以形成行为产生器（即感知—运动模块）。通常人们在构造智能系统时，往往采用功能分解的方法，而不得不使用较为复杂的信息处理机制，以形成感知模块、信息处理模块和运动控制模块组合而成的复杂系统。Brooks 实验系统在自然环境中所表现的防碰撞、漫游动作行为的灵活性给人以深刻印象。可以认为 Brooks 实验系统所实现的行为模式基本上是属于模仿昆虫级行为水平的低级运动形态。Brooks 认为这种人造生物（Creatures, Robot Beings）的智能行为体现在四个方面。

- ▲现场感（Situatdness）——它能适应真实的外部自然环境，而不是其抽象的模型。
- ▲载体性（Embodiment）——它具有感知器和执行器，其动作行为直接产生于感知的反馈，并且构成动态世界的一部分。
- ▲智能性（Intelligence）——人们可以观察到它和环境的动力学物理耦合时体现的智能行为。
- ▲突发性（Emergence）——它的智能行为有时会突发产生于系统和外部世界的直接交互，有时会突发产生于系统内部模块间的间接交互，以至于人们有时难于指出其动作产生的原因。

3.2 对 Brooks 系统进化方法的猜想

Brooks 认为人类活动的 97% 是无需概念的（指低级运动形态），我们暂且不管其比例数是否准确，但 Brooks 本人也并未完全否定存在有概念的活动（即高级运动形态）。可以肯定高级运动形态决不是低级运动形态的简单量变而来的，必须有一个质的进化过程，尽管对这种质变过程仍然很不清楚，但这并不妨碍对其进行某种猜想，从而开拓和丰富我们的研究方法和思想，我们认为有两种进化模式值得我们去研究和探讨。

一种是所谓控制论（Cybernetics）方法，早在四十年代，Wiener 就指出：控制论是在自控理论、统计信息理论和生物学的基础上发展起来的^[9]。它着重研究机器自适应、自组织、自修复和学习机理，这些功能由系统的输入输出反馈行为所决定。此后工程控制论^[10, 11]、生物控制论^[12]等学科相继发展，最近又提出智能控制论（Intelligence Cybernetics）^[13]，这些都标志着基于行为的系统研究方法在人工智能领域里的突起。

Brooks 也认为其思想中的现场感观点和控制论中提出的将系统组织和周围环境统一集成建模以理解系统的行为模式是同一思想。我们可以进一步地设想，控制论中的自修复、自繁殖思想方法将影响 Brooks 系统有关生存和繁衍目标的实现，而控制论中的自适应、自学习、

自组织和自镇定方法将影响 Brooks 系统由低级运动形态到高级运动形态的进化过程。反过来说 Brooks 开拓的基于行为研究工作有可能促使控制论的研究再度兴起,从而促进人工智能学科的发展,因为控制论和计算机学派的 AI 有着共同的追求目标。

当基于行为 AI 研究方法被基于思维的 AI 研究者们认可时,人们很自然地会想到能否用传统的 AI 方法成果,即已经掌握的有关表达、推理、规划和学习方法进行高级行为形态的研究。尽管 Brooks 否定这种观点的可行性,但是对我们这些受传统 AI 方法影响很深的人来说无疑是很吸引人的思想。这种相互影响在主观上是无法排除的,例如 Brooks 在介绍 Mataric^[14]研制的声纳导航机器人在室内漫游实验时,提及该系统内表达环境的路线图,图的节点均是计算环节,允许一部分自由节点表达新的地面标志,节点能动态激活并被重新安排。Brooks 也承认实际世界作为系统的一部分仍需表达与规划,只是排除其显式抽象表示方法,而需要采取与传统 AI 不同的表达方法。另一方面,传统的 AI 方法也愈来愈重视采用多种传感器实现主动感知和定性感知与执行器的集成,以实现机器与实际世界的动态交互。

4 主动感—知动作行为方法研究

高级行为形态的研究目标:按照作业任务的要求,利用先验的知识和在线感知的时序信息,主动规划出进一步的感知和动作序列,以实现自主作业的目的。即所谓自治柔性作业系统,这类系统是目前智能机器人研究的重要内容。

4.1 主动感知的定义

Abidi^[15]提出的定义:在一闭环系统中,谨慎地规划传感器的运动和感知策略,从而能收集被探索对象的最大有用信息集。

Ballard^[16]的主动视觉系统可以模拟人类视觉对空间物理亮点刺激的注视能力,以充分利用视觉中心区域高分辨率精度来观察目标,他指出一个可以凝视环境中一点的主动系统须采用以对象标架为中心的信息闭环,这一点的重要性也被我们研究的主动感知系统所证实。

Hager 和 Mintz^[17]给出了一个闭环的感知动作规划模型:

$$L(p, a) = w, p \in P, w \in W, a \in A$$

式中: a 是传感器动作,属于降维的控制空间 A 。 p 是感知的参数集,属于参数空间 P ,它描述了系统环境的状态。 w 是系统的控制向量,属于先验的控制空间 W ,它定义了传感器的组态。他还指出,可指定感知时间为优化变量,通过实验 A ,依据贝叶斯决策 δ ,可规划出优化的感知动作序列 $\{a_i\}$,以获取最大的感知信息量。

4.2 两个研究实例

这里给出两个我们正在研究之中的实例,即采用主动感知—运动行为规划方法,使手眼系统对空间目标物体的接近和跟踪作业更加智能化和灵巧化。

例 1 3D 空间物体位姿参数的主动视觉方法^[18]

① 实验系统:6 自由度机械手和安装在小臂上的单眼视觉。

② 先验知识:目标静止,且目标标架由目标物体作业面上的先验已知特征三角形所确定。

③ 感知任务:由在线感知的目标物体 3D 位姿信息 P_i ,确定相应的感知动作 a_i ,经机械手逆运动学转换方程计算关节控制向量 w_i ,使机械手在感知的同时迅速接近待作业的目标

物体。

④ 五步感知动作规划和控制

▲凝视动作控制: $w_1 = L_1(p_0, a_1)$

式中, a_1 为凝视动作, 使视觉摄像机光轴线穿过物坐标系原点, p_0 为初始观察信息。

▲横滚动作控制: $w_2 = L_2(p_1, a_2)$

式中, p_1 观察信息为已知先验特征信息和经 w_1 运动后观察信息的函数。(下同, 略)

▲俯仰动作控制: $w_3 = L_3(p_2, a_3)$

▲偏转动作控制: $w_4 = L_4(p_3, a_4)$

▲接近动作控制: $w_5 = L_5(p_4, a_5)$

⑤ 方法特点

▲以目标物体参数标架为中心, 使感知动作和接近动作紧密相关, 无任何冗余动作和规划, 体现了感知—运动行为的优化性和灵巧性。

▲在确定任务的指导下, 充分利用了目标系统的先验知识, 使得感知算法 P 和控制算法 L 简单、紧凑, 基本能满足实时系统的要求。

例2 基于视觉图像特征反馈的手眼系统跟踪行为方法^[19]

① 实验系统: 同例1, 但目标物体可作多自由度随机平滑运动。

② 先验知识: 目标物体标架由其作业面上的已知几何拓扑特征面或特征体所确定。

③ 跟踪方法: $w = L(p(Td, T), a(p, M_i))$

这里, 活动目标状态 p 为像平面上的理想跟踪终态拓扑特征集 Td 和在线感知特征集 T 的函数, 传感器的动作行为由 P 和已知机械手运动参数 M_i 所确定。

④ 跟踪行为模拟实验分析: 当活动目标作4个自由度以下随机平滑运动时, 系统跟踪效果基本满足跟踪允许公差要求, 且实时性较强。当活动目标作5个自由度以上运动时, 需要对与运动敏感的拓扑特征面或特征体作进一步研究。

⑤ 本系统跟踪行为特点

▲与传统的依赖于目标物体的位姿参数和运动参数的跟踪方法不同, 本系统是基于物体拓扑特征在像平面上的变化轨迹, 即在跟踪过程中无需精确计算活动目标的实际三维空间参数, 这一点类似于人类手眼跟踪行为, 即通过不断的视觉动态反馈来引导跟踪伺服过程。

▲强调对活动目标的感知, 是建立在目标的几何拓扑特征及其标架上, 该思想受文献[20]的视觉拓扑性行为心理学研究的启发。

5 两种动作行为方法的比较

对 Brooks 的实验系统和方法与我们研究的主动感知—动作方法列表比较如下

如表所示, 尽管两者所试图达到的智能水平不在同一层次上, 但前者在系统设计上有着全新的指导思想, 因而具有快速、并行性运行的突出优点, 系统的生存力强, 而后者强调从功能上模拟人的智能行为, 在系统设计和算法实现上有所改进, 但仍然受到传统方法很深的影响, 特别是受到冯·诺伊曼计算机体系限制, 运行速度慢, 且系统的改善性较弱。

能否应用 Brooks 的动作理论, 对主动感知—动作行为系统按动作分解的原理作一全新

	Brooks 系统和方法	主动感知—动作方法
系统构造	按动作分解	按功能分解
与传统 AI 关系	无思维、无抽象等	有知识、表达等
信息处理	有限状态机	信息交换、融合、优化
感知—运动模式	被动、开环	主动、闭环
通信方式	以行为为媒体	以任务导向、目标为媒体
系统运行	并行、速度快	串行或并发、较慢
系统行为改善	增加动作模块	增加与任务有关知识算法
适应的环境	自然环境	工程化或结构化环境
运动形态	低级运动形态	高级运动形态
达到智能水平	昆虫级智能行为	功能上模拟人类智能行为

计和构造呢？这正是我们正在研究的课题——将工业机械手改造成具有丰富感知能力和灵巧动作能力的智能机械手。在系统结构设计上，首先将赋予机器更丰富的感知能力，即增加更多的机器人传感器，如光学和声学距离传感器、六维腕力传感器、手指触觉传感器及全场视觉和手上视觉传感器等，以期增加系统与环境在时间上、空间上和物理耦合上的动态交互能力。其次，采用不同于冯·诺伊曼机式的广泛分布、并行运行式的网络体系结构和控制机制，以满足系统的实时交互能力。在信息处理机制上，依据对灵巧手作业动作的分析和分解，建立感知—动作行为模块的信息处理算法，这种算法与我们在正进行的类似课题^[2,1]注重信息融合和集成的算法完全不同，前者强调算法简单、并行运行的机制，而后者则强调逻辑和功能上的统一机制。但两者所要达到的智能行为目标是相同的，即主动感知—动作行为。

6 几点说明和结论

1) 假若基于思维的人工智能研究赋予智能机器具有冠军水平的下棋能力，那么基于行为的智能研究再赋予其幽雅的下棋举止和风度，这样人工智能的研究可以说达到了比较完善的程度。而图灵测试方法也就无需把被测试者遮盖起来了。进一步设想基于行为的研究成果再赋予智能机器人灵巧的雕刻精美棋子的技能，这样的机器人可以被认为超过一般人的智慧和能力，这可以说是人工智能梦寐以求的目标吧。智能技能行为的研究将是基于行为人工智能研究的一个非常大的应用领域。

2) 在低级行为形态系统进化过程的研究中, 人们可以逐步揭示思维活动产生和发展的本质性问题, 从而对基于思维的研究提供新的方法和原理, 促使思维研究的突破性进展。同时也会导致行为和思维间的相关性、统一性和协调性研究的进展。

3) 联接主义的应用研究目前多集中在模式识别范围, 它注重人的学习联想记忆功能, 并克服了符号主义的许多缺点, 但是其学习过程慢、不易获得全局最优解、不适应时变的外部环境等缺点限制了它的发展, 因此联接主义与符号主义相结合的研究趋势受到越来越多的重视。充分发挥联结主义并行性特点和符号主义的逻辑性特点进行高级行为形态的研究, 也是一个非常诱人的课题。

4) 从科学意义上来说, Brooks 的思想会推动控制论、仿生学等行为学科的研究再度兴起, 如果这类基于行为的研究方法被人工智能学界所接受, 那么人工智能的研究领域和内涵将更加广阔, 同时也易被其它相关的学科所承认和接受, 从而吸引和团结更多的学者为人工智能目标而奋斗。

参 考 文 献

- [1] Watson J B. Behavior—An Introduction to Comparative Psychology. Henry Holt Ch, 1, 1914
- [2] Brooks R A. Intelligence Without Representation. Artificial Intelligence, 1990, 47:139—159
- [3] Special Volume on Foundations of Artificial Intelligence. Artificial Intelligence, 1990, 47
- [4] 石统一、吴轶华编。人工智能基础。国家智能计算机研究开发中心技术资料, NCIC—YM91
- [5] Brooks R A. Intelligence Without Reason. IJCAI—91, Austrania: 1991: 569—595
- [6] 恩格斯。自然辩证法。人民出版社, 1971
- [7] 皮亚杰。儿童心理学。商务印书馆, 1980
- [8] Moravec H P, Brady M, Paul eds. Locomotion, Vision and Intelligence. Robotics Research I, MIT Press, 1984
- [9] Wiener N. Cybernetics. New York: John Wiley and Sons, 1948
- [10] Glorioso R M. Engineering Cybernetics. Prentice—Hall Inc, Englenood Cliffs N J, 1975
- [11] 钱学森, 宋健。工程控制论。科学出版社, 1980, 1981
- [12] 涂序彦, 黄秉尧等。生物控制论。科学出版社, 1980
- [13] 涂序彦。智能控制论。第二届全国计算机视觉和智能控制学术会议论文集, 武汉, 1991
- [14] Mataric M J. Navigation With a Rat Brain: A Neurobiologically—Inspired Model for Robot Spatial Representation. Proc 1st Conf on Simulation of Adaptive Behavior, MIT Press, 1990:169—175
- [15] Abidi M A, Spears J W, Ho C Y, Zobrist G eds. Tactile Information Processing for Robotics Manipulation. Progress in Robotics and Intelligent Systems, Ablex Publishing Corp, N J, 1990

- [16] Ballard D H. Animate Vision. Artificial Intelligence, 1991, 48
- [17] Hager G, Mintz M. Computational Methods for Task-directed Sensor Data Fusion and Sensor Planning. The International Journal of Robotics Research, August 1991, 10(4):285—313
- [18] Kang N S. Object Localization with One Monovision Image. Proc of ICARCV 90, Singapore, 1990:993—997
- [19] 康南生, 方运健. 一个基于图象特征的手眼跟踪系统及方法研究. 模式识别与人工智能, 1991, 4(3):41—45
- [20] 陈霖, 钱学森主编. 拓扑性质检测. 关于思维科学, 上海人民出版社, 1986
- [21] 康南生, 王雪泰. 一个任务导向的装配机器人多传感器系统方法. 机器人, 1992, 14(1):7—11

RESEARCH APPROACHES FOR AI BEHAVIORISM

Kang Nansheng Fan Tinjiang

(The Institute of Intelligent Machines, Hefei)

ABSTRACT

Based on discussing the relationship between the behavior and the reasoning of human beings, it is argued that the behaviorism should become one of the major research subject in the area of Artificial Intelligence. Brooks' action theory and experimental system, and our two researching examples on active perception—action behavior are briefly introduced. Through comparing and analyzing, further research idea and prospect on advanced behavior modes are proposed.

Key Words AI, Behaviorism, Cybernetics, Action.