

文章编号: 1002-0446(2001)02-0187-06

基于“感知-行为”的智能模拟技术的现状及展望*

陈宗海¹ 詹昌辉²

(1. 中国科学技术大学自动化系 合肥 230027; 2. 解放军电子工程学院新技术教研室 合肥 230037)

摘要: 本文详细评述“感知-行为”方法的智能模拟技术发展的现状,介绍了“感知-行为”模式与传统人工智能方法的区别,并给出了“感知-行为”方法构造智能系统的设计原则。

关键词: 智能模拟;“感知-行为”模式;人工智能

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

REVIEW AND PROSPECT OF INTELLIGENT ANALOGUE BY PERCEPTION-BEHAVIOR MODE

CHEN Zong-hai¹ ZHAN Chang-hui²

(1. Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027;

2. New Technique Teaching & Research Section of Electronic Engineer Institute of P. L. A., Hefei, 230037)

Abstract: In this paper, the development actuality of intelligent-analogue technique in “perception-behavior” mode has been reviewed in detail, and the difference between traditional method of artificial intelligence and that of “perception-behavior” has been introduced. Also, principles have been proposed to construct an intelligent system based on “perception-behavior” mode.

Keywords: intelligent analogue(IA), “perception-behavior(P-B)” mode, artificial intelligence(AI)

1 引言 (Introduction)

人工智能是 20 世纪中期产生的并正在迅速发展新兴边缘学科,它是探索和模拟人的智能和思维过程的规律,并进而设计出类似人的某些智能自动机的科学。它的目标包括对人类智能的理解和构造实际的智能系统两个部分。多年来在人工智能领域中有一个隐晦的最终目的,即制造一个机器人,已经有许多研究把脑模型同计算机、控制论和人工智能联系起来,目的是复制人的智能,但在实际研究过程中遇到了大量的困难。

目前,研究人员放弃了对人类的智能全盘复制的目标,取而代之是让机器模拟人的某一方面的智能。例如:对自然语言的理解、对设计的检验等等。这些都是建立在严格精确的系统数学模型基础之上的,在机器人与环境之间只存在强相互作用的确定性过程任务中得到成功的运用。但是,当机器人与环

境之间存在不确定性时,原先的方法就不足以应付这种不确定性的挑战,例如在战场、太空、海底等不可事先预见的环境条件。为了制造能在多变环境条件下顺利完成任务的机器人,我们需要有新的方法和理论来指导我们的研究工作。“感知-行为”方法就是在这种需求下提出,并在一定领域内应用取得成功的一种智能控制方法。

“感知-行为”模式最早是作为探讨动物与自然界的相互关系的一种心理学思想而出现的。作为心理学的主流派之一的代表人物——著名的心理学家 J. B. Watson 从 1913 年到 1924 年先后发表了《行为:比较心理学导论》、《行为主义的心理学》、《行为主义》,确立了行为主义在心理学研究中的地位。他认为:“动物的行为是对外界刺激的反应,思想是整个身体的机能。”1948 年,维纳在著名的《控制论》中指出:“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,机器的自适应、自组织、自

修复和学习功能是由系统的输入输出反馈行为决定的。”从而将心理学的某些成果引入到控制理论中。20世纪80年代,随着计算机技术、仿生学等科学的发展,以美国麻省理工学院人工智能实验室的年青科学家 Rodney. A. Brooks 为代表的一批研究人员将行为主义的观点引入到人工智能的研究中。Brooks 认为:“①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;②许多作用物的行为能够通过一些分解的动物而合成。”

进入80年代后期,由于计算机技术、芯片技术、生物仿真技术的发展,“感知-行为”模式的智能模拟技术得到了快速发展:1986年,在行为主义理论的指导下,Brooks 在美国麻省理工学院人工智能实验室成功地制造出了第一个基于“感知-行为”模式轮式机器人 Allen。从此基于“感知-行为”模式机器人的研究有了突破性的进展。该机器人是一种包容式的结构,其行动几乎完全是具有活性的。通过声纳传感器接收声波来确定运动物体的位置,避开运动物体,而且不与静止的物体发生碰撞。同时该机器人有一高级别的无活性层,该层的功能为选定一个前进的目标。当向目标前进的过程中,低级层控制机器人不与其他物体发生碰撞,这样就将经常变动层与非经常变动层结合起来。更为重要的是:实现这两种功能的是同一种计算机理,低级层与高级层信号的输入和输出是彼此独立的,而且不需中枢控制部分来对这两层之间的动作进行协调。

1987年,Brooks 造出四个基于“感知-行为”模式轮式机器人 Creature。它们能够在麻省理工学院人工智能实验室和办公室的地形条件下,智能行走,避开静止的或运动的物体,即使有时人故意靠近 Creature,它们也能避开。轮式机器人 Creature 由躲避碰撞层、行走层、探索层这三层构成。每一层包含一个简单有限状态机的固定布局网络。这些有限状态机地位是相等的。它们并行处理和发送控制信息,它们之间没有中枢控制部分的控制。控制层之间结合是靠一种抑制机理来完成的。最低层执行的是避免与其他物体碰撞的动作,有限状态机不停地驱动声纳,每秒生成一张即时的周围地形图,送到最低层有限状态机中去判断前方是否有障碍物的存在,如果前方有障碍物的存在,则发送停止指令,而该层有限状态机对其他行为没有控制作用;第二层为行走层,如

果机器人是不在忙于避免碰撞,该层每十秒发出一条前进的指令,该指令对最低层的行为有抑制作用,它使机器人向接近它所希望的方向运动,同时避免与其它物体碰撞;第三层的作用是使机器人达到较远的目标,该层对第二层的行为有抑制作用,修正偏差,使机器人到达目标。

1988年,Brooks 造出一个基于“感知-行为”模式的六腿机器人 Genghis。其运动的步骤如下:在通过一个粗糙的地面时,所有控制层所进行的第一步工作是使 Genghis 站起来,接着开始无反馈行走,然后通过力的反馈作用进行调整以适应粗糙的地面并避开障碍物,最后通过对倾斜仪的调整以适应新的环境。在实际条件下 Genghis 能够顺利地通过许多不同的地形而几乎用不着计算。

1991年,麻省理工学院的 Kelin 制造了一个六足机器人,每条腿都有一微处理器指挥着腿的何时抬起何时放下,该机器人能够实现攀越陡坡动作。1992年,Michael 等人(Center for Neural Engineering University of Southern California)利用“感知-行为”模式研究蛙类的行为,并把此技术运用到机器人研究领域。他们认为:“蛙的感觉-行为是一种包含式的结构,其至少包括三个层:①感觉-捕食层;②感觉-不动;③感觉-逃逸。而且这三层之间的作用机制为相互抑制的,当某一层起作用时,另两层活动是被抑制。这种生物学上的研究成果可以被移植到智能系统的设计中去”。由于这方面发展很快,1995年召开了第一届关于适应行为模拟的国际会议。在这次会议上,行为主义的控制方法被认为是一种重要的新的智能控制方法,有别于原来的智能控制方法。同时一批行为主义研究的代表人物(Wilson、Brooks、Cliff、Meyer)在会上做了重要发言。

1998年,Barry 等人(Ullanta Performance Robotic and Interaction Lab, Department of Computer Science, University of Southern California)利用“感知-行为”模式机器人设计思想,发展出一种基于“感知-行为”模式多足足球机器人智能系统(Spirit of Bolivia)。他们的足球机器人有一个很重要的特点是:在设计过程中百分之九十的时间内没有采用编码,最后在系统调试的过程中才使用了某些特定的编码,这样使系统的设计和调试周期更短,适应能力更强,冗余度更好。“Spirit of Bolivia” Robo Cup 足球队在1997年机器人世界杯足球赛中展示出了复杂

的动作、强健的对抗性, 以及机器人之间默契的配合能够与利用其它尖端技术制造出来的机器人相媲美. 而该系统的设计、调试时间非常短, 这使得 Barry

等人能在参加比赛前十二小时对机器人进行编码、调试. 其机器人的运动原理如图 1 所示:

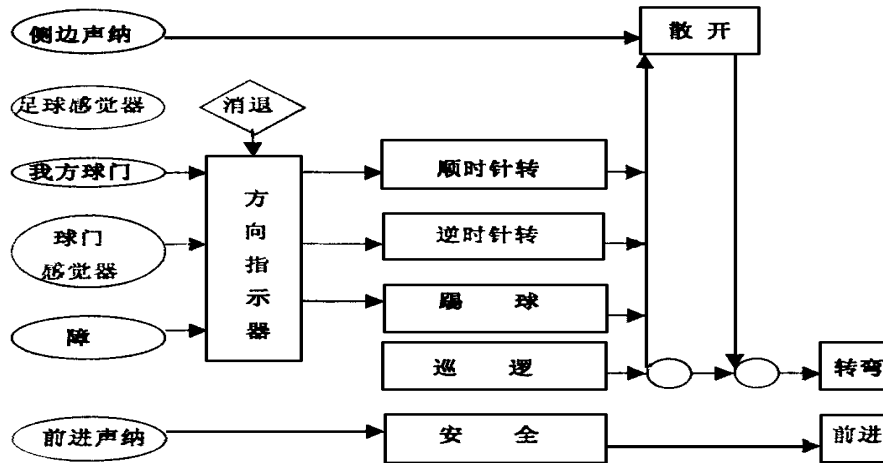


图 1 “Spirit of Bolivia” 机器人的运动原理图

Fig. 1 Diagram of robot “Spirit of Bolivia” sports

1999 年, Polly 等人 (Naval EOD Technology Division) 发表文章, 阐述基于“感知-行为”模式的多机器人系统 (ISR/ISX) 在战场扫雷方面的运用. 其基本设计思想同 Brooks 关于单个“感知-行为”模式机器人设计思想一样, 但其具有不同于其它机器人的特点. 首先, 该多机器人系统中的每个机器人的任务是不同的, 它们有着明确的分工, 但该系统中的每个机器人结构是基本相同的, 也就是说每个机器人通过一定的调整可以互换; 其次, 该多机器人系统的控制为: 多数时间内的自主控制和必要的人工干预; 第三, 该多机器人系统中尽量使机器人之间的联系最小化. 在 1996 年 11 月, 所进行的清除炸弹的实验中 ISR/ISX 系统在四组机器人系统中表现是最杰出的. 在 1998 年 4 月, ISR/ISX 系统 M-42 手榴弹的实验中, 单个机器人的搜寻炸弹, 躲避障碍物的表现很出色, 但在相互配合的过程中表现不理想.

2 “感知-行为”方法与传统智能模拟方法的区别 (Difference between “P-B” mode and traditional IA)

2.1 在抽象化态度方面

传统智能方法通常是将所进行的工作分成两部分: 能够被解决的被认为是人工智能部分, 其余的被认为是非人工智能部分. 通过抽象的加工, 研究人员

将问题中的人工智能部分和非人工智能部分区分开来. 早期人工智能的研究主要集中在几何问题、符号代数问题、某些定理的证明以及其它一些规则问题的解决. 这些问题从语义学角度来描述是非常简单的. 到了六七十年代, 对确定块空间的研究成了智能研究工作的主要内容. 它同样有着简单、统一的语义学方面的描述. 对此研究的关键在于对所研究的块空间的状态有完整、清楚的描述. 搜寻技术可被运用到这个确知的块空间中去制定计划. 同时因为在此空间中仅有几个简单的概念值得学习, 并且这几个简单的概念能通过列举一系列的子表达式的方法而获得, 所以学习功能也能通过此方法实现. 近年来, 传统智能研究被迫进入一个更复杂的研究领域, 例如: 制订旅行计划、病情的诊断等, 因此出现了一个新的口号: “好的表达方式是人工智能成功的关键.” 这个思想就是把相关的情况表达清楚. 在语义学方面, 这种方法又一次借助抽象的作用将所研究的复杂空间简化为一个封闭的简单空间.

“感知-行为”主义者反对在人工智能的研究中将所处的领域过分的抽象化. 他们认为: (1) 实际存在的事物有着非常复杂的情况, 过分抽象将失去实际情况的特征. 例如: 我们不能将一张椅子抽象简单为一个平面加四条腿. (2) 在传统的人工智能研究中对事物抽象归纳的过程是由研究者完成的, 智能系统对事物抽象归纳的过程参与很少, 主要功能是

对原有规则进行搜索套用的过程,实际上不能说是一种真正的人工智能.例如:我们有一张照片,其中有一个人、一张椅子、一串香蕉,但香蕉处于人够不着的地方,在传统人工智能模拟中,研究人员必须将所要用的动作编成特定动作程序存放起来,智能模拟仅为搜索到这种控制规则后执行的过程.它不能看着照片而自行抽象,制订计划和完成任务.(3)

传统人工智能系统与环境改变条件下,其可靠性十分差,例如:一诊断感染病的传统人工智能系统,当被告知病人的大动脉破裂,流血不止时,该系统还只能依照诊断感染病的方法去处理.

2.2 在构造智能系统方面

传统方法构造智能系统是采用功能分解的方法,其原理如图 2 所示:

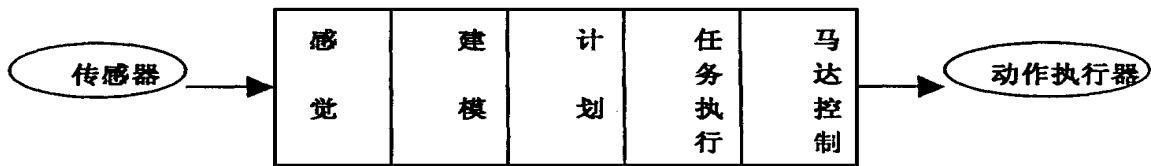


图 2 传统人工智能方法构造智能系统的原理图

Fig. 2 Diagram of AI-based intelligent-system construction

传统智能系统有一中心控制系统,感觉模块作为中心控制系统的输入部分,而执行模块作为中心控制系统的输出部分,感觉模块将外界信息用符号表示后传给作为处理机的中心控制模块,中心控制模块将信号处理后送给执行模块,执行模块在信号

的控制下执行特定的动作.整个过程是一串行处理的过程.

“感知-行为”主义方法是采用动作分解的方法,其原理如图 3 所示:

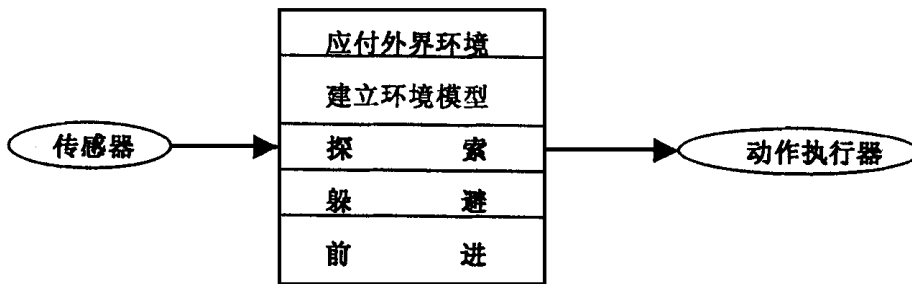


图 3 “感知-行为”主义的构造智能系统的原理

Fig. 3 Diagram of "P-B"-based intelligent-system construction

“感知-行为”主义方法是将动作分解成几个相互独立的动作,每一动作是由感觉模块直接到执行模块,没有中枢控制系统的作用,动作之间没有干扰,动作之间的冲突由抑制作用来解决的.整个过程是一并行处理的过程.

3 “感知-行为”方法设计智能系统的原则 (Principles of "P-B"-based intelligent-system construction)

为了使自主机器人系统能够适应环境的变化,研究人员一直在追求更好的硬件、更复杂的程序、更

精确的传感器等等,以求得到更高级的机器人行为。但是,我们总会受到某些条件的制约。实践经验表明:在多数情况下,越精确、越高级的机器人系统就越难控制。因此我们要遵循一定的设计原则,使自主机器人系统的设计切实可靠。目前,已有许多基于“感知-行为”模式设计的机器人系统能够满足人类的许多方面的要求,这些系统的成功主要归功于三个原则:简单性原则、无残留状态原则、高冗余性原则。

• 简单化原则

Donald 等人引入了简单化原则,将其作为一种设计多-Agent 系统的方法。这是一种理论上十分令人感兴趣的系统设计方法,因为它证明了特定的信息源并不是系统结构的必要组成部分。简单化设计原则能够带来包括使调试和改进更容易、更快捷、执行系统的效率更高、适应性更强的优点,因此它越来越多地被采用。Donald 等人给出了关于简单化设计方法的总的观点:无须理解的灵巧操作、无须静态稳定性的行走、无须传感器或激励器的运动和基于行为主义的控制。对于多机器人系统,这种设计方法能够使系统简化、易于被再使用和容错性强。在实际设计过程中,简单化设计方法在许多方面被加以运用,例如:

(1) 运用快速反馈取代精确的计算,允许通过简单的估算或比较来产生复杂的动作。这就使得我们可用大量时间将尽可能多的信息具体化,使系统更能适应环境而不仅仅只适用于某一特定的模型,从而具有了设计与现实相匹配的优点。

(2) 最大可能地使多个机器人的行为模式同类化(即异步行为的最小化)。在大多数情况下,设计和保持一系列同类机器人比异类系列机器人更容易。同时这将有助于我们把各个机器人行为区分开来。

(3) 行为之间的相互作用要尽可能的小或平行。例如:行走机器人的行走控制器不要控制机器人的旋转,旋转控制器不要控制机器人的行走。这将使我们对机器人系统的调试和完善更方便,更容易,同时让对机器人系统的再利用变得更加可能。

• 无状态原则

无状态被定义为一个系统的大量反应的部分规则,是对系统内部所保留状态的一种度量。我们设计时必须使系统的内部状态与外在环境保持同步,这就要求所保留的状态不能在系统内部长时间的起作用。无状态特性是一种感觉的消退,即在一短暂时段内保留感觉到的某种信息部分数据,这有点类似于

视网膜对残留影像的保留过程。感觉消退的设计允许将所得的信号直接加入到系统中而无须改变先前的方法或代码;允许在实际的环境下对智能系统进行训练和调试。其主要有如下两点要求:

(1) 避免定序的行为。因为当内部的定序指令与接收的环境信息指令发生冲突时,系统将变得复杂和难以控制。Tamble 所提供的 9 次失败的事例中,有 5 次失败的原因在于内部的定序指令与接收的环境信息指令发生冲突。因此,研究人员在设计过程中要尽可能地用环境信息指令代替内部的定序指令,从而保证智能系统更好地运行。

(2) 最大限度地利用机器人和环境的物理特性。我们可以通过增加或调整物理装置来减少对复杂计算的需求。许多机器人系统在此原则的指导下成功地实现了机器人之间的靠近与排斥的行为。同时,这种设计提高了系统的可改变性,使系统更易完善,对环境的变化和其它失误的适应能力更强。

• 高冗余性原则

高冗余性是使系统能与不确定因素共存,而不是去消除不确定因素。它的实现是通过尽量减少对精确度的需求来达到实际的要求。高冗余性原则已经在上述的简单性原则、无残留状态原则中被充分运用,例如:运用快速反馈取代精确计算。但在利用高冗余性原则时,研究人员必须要确保获得完成任务所需的最底限度信息量。

4 “感知-行为”模式的智能模拟的展望 (Prospects of IA in “P-B” mode)

“感知-行为”方法强调系统对环境的感知,响应以及相应自组织动作的协调和操作,体现出较强的生物行为的主动特性和相应于环境所做出的自调整能力。因此多机器人之间,以及机器人与环境之间的相互配合、相互协调是其研究的关键之一,另外“感知-行为”模式智能系统是一种自下而上的系统,设计过程中技巧性很强,很难把握系统的全局整体性质,其使用受到一定的限制。因此,需要与自上而下的系统设计方法结合,在两种设计方法的交界处寻求新的突破。

参考文献 (References)

- 1 高觉敷. 西方近代心理学史. 北京:人民教育出版社
- 2 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制论. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1998
- 3 Rodney A Brooks. Intelligence Without Representation in: Artificial Intelligence, 1991, 4: 139-159

- 4 Rodney A Brooks. New Approaches to Robotics, Articles in: SCI, 1991, **253**(13)
 - 5 Vladimir J Lumelsky. Rodney A Brooks. Sensor-Based Planning and Control in Robotics. Editorial in: IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1989, **5**(6)
 - 6 Michael A Arbib, Jim-Shih Liaw. Sensorimotor Transformations in the Worlds of Frogs and Robots. in: Artificial Intelligence, 1995, 72: 53- 59
 - 7 Matthew Brand, Beter Prokopowicz. Clark Elliott Jean-Arcady Meyer and Stewart Wilso, eds., Form Animal to Animal: Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior in: Artificial Intelligence, 1995, 73: 307- 322
 - 8 Barry Brian Werger. Cooperation Without Deliberation: A Minimal Behavior-based Approach to Multi-teams in: Artificial Intelligence, 1999, 110: 293- 320
 - 9 Polly K Pook, Christopher K Debolt. Test Bed Robot Development for Cooperation Clearance. International Journal of Robotics Research, 1999, **18**(7): 753- 755
 - 10 秦世引, 罗公亮, 孙增圻. 智能控制研究中的几个问题. 信息与控制. 1996, **25**(3)
 - 11 Lyons D M, Hendriks A J. Exploiting Patterns of Interaction to Achieve Reactive Behavior in: Artificial Intelligence, 1995, 72: 173- 215
 - 12 Alessandro Saffiotti, Kurt Konolige, Enrique H Ruspini. A Multi-valued Logic Approach to Integrating Planning and Control. in: Artificial Intelligence, 1995, 6: 481- 526
 - 13 Jozsef A Toth, Kenneth N Ford and Patrick J Hayes, eds. Reasoning Agent in a Dynamic World: the Frame Problem. Book Review in: Artificial Intelligence, 1995, (73): 323- 369
 - 14 Edward W Large, Henrik I Christensen, Ruzena Bajcsy. Scaling the Dynamic Approach to Path Planning and Control: Competition Among Behavioral Constraints, in: International Journal of Robotics Research, 1999, **18**(1): 37- 58
 - 15 Randall D Beer. A Dynamical Systems Perspective on Agent-Environment Interaction in: Artificial Intelligence, 1995, (72): 173- 215
- 作者简介:
陈宗海 (1963-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域: 复杂对象的建模、仿真与控制, 人工智能, 计算机应用等.

(上接第 186 页)

- 6 Toshiharu Mukai, Takashi Mori, Masatoshi Ishikawa. A Sensor Fusion System Using Mapping Learning Method. Proceedings of the 1993 IEEE/RJS International Conference on Intelligent Robots and Systems, 391- 396
 - 7 Lakshman Pasad, S Sitharama Iyengar, R L Kashyap, Rabinder N Madan. Functional Characterization of Fault Tolerant Integration in Distributed Sensor Networks. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics. 1991, **21**(5): 1082- 1087
 - 8 Rajive Joshi, Arthur C Sanderson. Model-based Multisensor Data Fusion: A Minimal Representation Approach. Robotics and Automation, 1994. Proceedings. 1994 IEEE International Conference on Published: 1994, 1: 477- 484
 - 9 Wen W, Durrant-Wythe H F. Model-based Multi-sensor Data Fusion. Proceedings of the 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 1720- 1726
 - 10 Greg Hager, Max Mintz. Computational Methods for Task-directed Sensor Data Fusion and Sensor Planning. The International Journal of Robotics Research. 1991, **10**(4): 285- 313
 - 11 刘开第, 吴和琴, 庞彦军, 刘开展, 高志强. 不确定性信息数学处理及应用. 科学技术出版社, 1999
 - 12 张文修, 梁怡. 不确定性推理原理. 西安交通大学出版社, 1996
- 作者简介:
王 军 (1973-), 男, 博士生. 研究领域: 智能机器人, 多传感器集成与融合.
苏剑波 (1969-), 男, 博士, 副教授. 研究领域: 机器人视觉, 多机器人协调.
席裕庚 (1956-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域: 预测控制, 多智能体协调控制.