

文章编号: 1001-0920(2004)02-0235-03

## 关于人机协作的学习控制

董苗波<sup>1</sup>, 孙增圻<sup>2</sup>

(1. 清华大学 深圳研究生院, 广东 深圳 518057; 2. 清华大学 计算机系 智能技术与系统国家重点实验室, 北京 100084)

**摘要:** 从基本出发, 对人机协作学习控制所涉及的人的行为模型、人机协作中的信息与知识、人机协作学习控制的扩展等问题及其相互关联展开了深入的讨论。在此基础上, 结合组件化的思想, 给出了人机协作学习控制的各种模式。

**关键词:** 人机协作; 学习控制; 组件化

**中图分类号:** TP273.O234

**文献标识码:** A

## On human-machine cooperative learning control

DONG Miao-bo<sup>1</sup>, SUN Zeng-qi<sup>2</sup>

(1. Graduate School at Shenzhen Tsinghua University, Shenzhen 518057, China; 2. State Key Laboratory of Intelligent Technology and Systems, Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China. Correspondent: DONG Miao-bo, E-mail: mbdong@163.net)

**Abstract:** A deep and conjunctive discussion on a range of subjects about human-machine cooperative learning control is presented, which includes human behavior model, information and knowledge in the cooperation, human-machine cooperative learning control model. Based on that, an evolving series of models of human-machine cooperative control systems are given.

**Key words:** human-machine cooperation; learning control; componentialization

### 1 引言

人机协作和交互广泛存在于各个领域。人机具有互补性, 计算机在运算、信号处理、记忆等方面的能力远优于人, 但人们擅长对问题智能化的分析解决, 包括对环境的识别能力、逻辑推理能力等。因此在很多情况下, 常利用人机协作实现一个系统, 即由机器实现简单的操作和底层的自动化控制, 由人实现上层的监督控制、任务安排、轨迹设定及技巧性的操作等<sup>[1-3]</sup>。学习控制与智能控制是传统控制在拟人化方面的扩展。机器模拟人的学习、知识获取/应用等能力, 使它在某种程度上替代了人。因此人机协

作和学习/智能控制都是人和机器的任务分配及协作实现问题, 它们具有相关性。对人机协作与学习控制内在相关性的研究, 所涉及的问题是对人、控制器、对象等这些不同主体的性质和特点的深入分析, 以及对它们之间协作模式和机制的研究。

本文从基本点出发, 对人的行为模型、人机协作中的信息和知识、协商机制、人机协作学习控制的模式等问题及其相互关联展开了深入的讨论, 使人机协作学习控制的基本原理和框架清晰地显现出来, 并给出人机协作学习控制的各种模式。

**收稿日期:** 2002-12-12; **修回日期:** 2003-04-10

**基金项目:** 国家重点基础研究专项基金资助项目(G2002Cb312205); 国家自然科学基金资助项目(60174018); 国家自然科学基金重大研究计划专项基金资助项目(90205008)。

**作者简介:** 董苗波(1976—), 男, 浙江宁波人, 博士后, 从事智能控制、人机协作方面的研究; 孙增圻(1943—), 男, 江苏靖江人, 教授, 博士生导师, 从事智能控制、机器人等方面的研究。

## 2 人的行为,人和机器的信息交互

在实际生活及具体任务中,人的功能包括感知、辨识、分析推理、决策、反应和记忆等。人的行为包括他与外界的输入输出行为和内在的思考行为,在层次上可分为3类<sup>[3,4]</sup>: 1) 信号层的行为: 指人与外界交互的基本的信息获知和输出行为,包括人的基本感知行为、基础的对原始信息的辨识、信息提取行为、通过各种渠道(如声音、动作)向外界的输出等,这类行为体现了人的基本感知和反应能力; 2) 知识层的行为: 指人根据内在知识对获知的信息作出决策的行为,即知识的应用行为,这类行为体现了人所具备的知识; 3) 智能层的行为: 指建立在知识基础上的,体现人的智能行为,包括对知识进行的分析推理、归纳等行为。

人与机器的交互包含两个方面: 1) 人对机器的信息获取和输入; 2) 机器对人的信息获取和输出。与人和人之间交互所不同的是,人与人之间的交互不需要附加的设备,便可以自然实现双向的信息交互,而机器不具备从人获取信息和输出信息的能力; 另一方面,机器的信息与人的信息是不一致的,机器的信息由信号、代码、数据组成,而人的信息则是通过知觉的自然信息,如图像、声音等; 因此实现机器和人交互的首要条件是建立一个实现它们之间信息传输的通道,并且它能够实现两者“认知”信息的转换。该通道由能够实现信息传递和转换的中介设备构成,如键盘/显示器等。

人与机器的交互在趋向上可分为两种类型: 1) 人向机器靠近,由人主动从机器那里获知信息和输入信息; 2) 机器向人靠近,由机器主动捕获人的活动,进行辨识,并向人提供所掌握的信息。

人机交互(即信息的交互)的实现为人机协作提供了前提条件,在此基础上,人以各种身份参与到整个系统中,象系统的一个部分、一个组件一样,实现自己特有的功能。这样整个人机协作的系统是由不同组件按各自的规范参与,并以一定的协作和运行机制组织而成的。组件的功能、组件和组件的信息交互、协作的机制成为人机协作系统的构成元素和设计主题。

## 3 人机协作中的信息和知识

信息是组件与组件之间交互的内容。在人机协作的系统中,包括人与人、人与机器、机器与机器之间的交互。机器与机器的交互通常是最为简单的一种方式,以电子信号的方式实现信息交互。人与人之间的交互,通过声音、视觉等信息通道以及人在成长

过程中所积累的与外界交互的经验和技巧进行的人可以自然地外界获得各种信息,实现人与人之间语言交流和自身的想法,即知识、经验等一些抽象信息的交流。人与机器的交互需要将机器输出的信息转化为人所能接受的信息形式,将人的信息转化为机器可获得的输入形式,如将机器的信号通过显示器转化为图像,将人的操作,通过设备转化为实际的控制信号。

在实际的人机协作系统中,人机之间的信息交互并不均衡。机器通过输入输出设备与人实现设备内的信息交互,而人除了在设备内与机器实现交互外,通过观察还能够获得机器的外在构造、物理特性、运行状态等设备外信息,并且根据自身的知识经验、分析能力获得关于对象特征、模型等表示对象内在规律的信息。因此,人的信息来源比机器广泛,其信息获取能力也比机器强大。这使得人在人机协作系统中能够担任一些如监督、任务规划等高级的职责。

通过以上叙述,对信息以及信息在人机协作中的作用可作如下综合。

信息从抽象程度上可以分为: 1) 信号层; 2) 知识层; 3) 智能层。

信号层的信息,即为一般意义下的信号,表示对象的状态和输入输出,是组件间的作用信号,信息的含义直接表现为信号的大小、高低等。它可以由机器组件或由人借助设备产生和接受。

知识层的信息,传达的是关于对象的知识。其信息形式较为丰富,如语言形式、电子/数字信号形式等,它所承载的是对象的知识描述。知识层的信息可由人产生和接受,人与人之间可以自然实现知识的交流,而机器只有经过设计才具备对知识的接受和输出能力。

智能层的信息,是建立在知识层基础之上的,表示知识处理技巧的信息。它对应于人的推理、分析、归纳等行为。人们具备智能层信息的接受和输出能力,而机器即使经过设计也很难具备这种能力。

某层主体完备的信息处理能力是指它既具备该层信息的获取(输入)能力,也具备该层信息的输出能力。这种能力是主体在该层与其他主体实现信息交互的前提条件。

## 4 人机协作的学习控制

### 4.1 人机协作学习控制中的信息交互

在人机协作的学习控制中,主要包括人、控制器、对象/环境3个组件(主体),它们具有不同的性

质和特点

1) 人是三层信息能力的主体, 经过成长过程中的学习和训练, 人具有完备的能力: 接受和输出外界的信号; 学习(输入)和传授(输出)知识, 其中包括通过设计将自身的知识和技巧结合到机器中; 能够掌握知识、规则等推理、演绎、分析等更高层的技巧, 并采用人工智能的方法, 将技巧在机器上模拟实现

2) 控制器的特点是: 具备信号的输入输出信息; 经过设计, 可以获得人的控制技巧和知识, 成为一个具备接受和输出知识能力的主体, 其获得、接受和输出知识的能力是逐次递进的, 并且后两者使控制器也具备了知识交互能力, 从而可以实现与人或另一个主体在知识层面上的协商。但在控制应用中, 一般不考虑机器在智能信息方面的能力

3) 对象/环境的特点是在控制问题中不可随意设计和更改, 为固定属性的输入输出组件。它与控制器的区别是, 人们可以根据需要对控制器进行设计和制造

系统组件的内部信息交互如图 1 所示(图中实线表示设备内信息, 虚线表示设备外信息, 白箭头表示信息提取)。其中充分考虑了人从对象输入输出提取知识的能力及人的先验知识和技巧等。在此给出了人机协作学习控制的关键点, 即人、控制器及对象参与系统的方式及其之间的信息关系

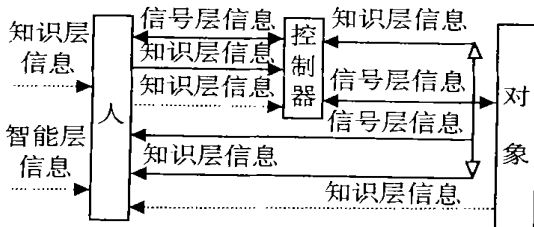
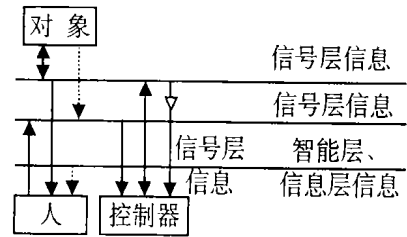


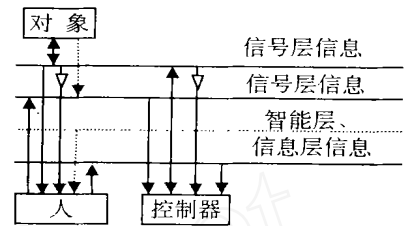
图 1 人、控制器及对象之间的信息交互

4.2 人机协作学习控制的模式

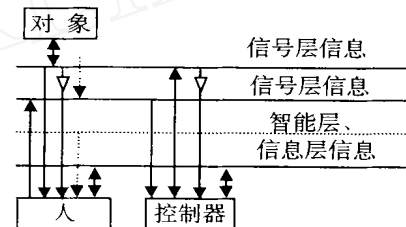
下面对根据传统控制改进的人机协作学习控制的各种模式进行介绍, 人机协作学习控制模式如图 2 所示。图 2(a) 在传统控制的基础上, 扩展了从对象的输入输出提取知识的能力; 图 2(b) 和 (c) 分别是在传统的学习控制基础上对控制器知识层信息能力的扩展。图 2(b) 使得控制器不仅具备根据对象变化学习调整的能力, 还具备从人直接获取知识的能力; 图 2(c) 则使控制器不仅能够获得人提供的知识, 而且能够输出自身的知识, 与人产生了相互学习的关系。值得一提的是, 传统的学习控制研究主要集中在



(a) 传统的学习控制



(b) 具有知识接受能力的学习控制



(c) 具备知识双向交互能力的学习控制

图 2 人机协作学习控制的模式

于图 2(a) 系统, 而对于图 2(b) 和 (c) 型学习控制系统的研究较为缺乏, 但其却具有较好的应用前景

5 结 语

本文对人的行为模型、人机协作中的信息和知识、信息流、学习控制模式等关键问题展开了深入讨论。为人机协作、学习控制及它们之间的联系给出了一个新的视角

参考文献(References):

- [1] Martin Buss, Hideki Hashimoto. Intelligent control for human machine systems[J]. *IEEE Trans on Mechatronics*, 1996, 1(1): 50-55
- [2] Karim A Tahboub. Natural and manmade shared-control systems: An overview [A]. *Proc 2001 IEEE Int Conf on Robotics & Automation* [C]. Korea, 2001. 2655-2660
- [3] Bernard Riera, Serge Debernard. Human-machine cooperation and supervisory control of automated process[A]. *Proc 2001 8th IEEE Int Conf on Emerging Technologies and Factory Automation* [C]. 2001. 635-644
- [4] J Rasmussen. Skills, Rules, knowledge: Signals, signs and symbols and other distinctions in human performance models[J]. *IEEE Trans on SMC*, 1983, 13(3): 257-266