

学习系统的一个统一的组件化框架

董苗波¹, 孙增圻²

(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: 学习系统是一个广泛的概念, 在不同的领域都有对它的研究, 比如神经网络、自适应控制系统、学习自动机等, 这些不同领域的学习系统具有不同的结构和原理, 但是它们都具有共同的特点, 即这些系统在运行过程中进行自身调整, 以适应环境或者取得优化的性能, 它们所面临的问题也具有很大的相通性. 因此为学习系统提供一个统一的研究平台(如数学描述、结构标准等), 具有很大的意义. 从学习系统的功能和结构出发, 试图给出一个学习系统的标准的结构. 采用组件化的思路, 把学习系统的功能组件化为一些具有规范和标准的模块(组件), 形成一个对于不同类型的学习系统都适用的框架结构; 并且分别对神经网络、自适应控制系统这两种学习系统进行了研究.

关键词: 学习系统; 组件化; 组件化框架

中图分类号: TP273, O234 **文献标识码:** A

Unified componentialized framework of learning system

DONG Miao-bo¹, SUN Zeng-qi²

(1. Graduate School, Tsinghua University, Shenzhen Guangdong 518057, China;

2. State Key Laboratory of Intelligent Technology and Systems, Department of Computer Science & Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Learning system is an extensive concept. There are learning systems of different forms and mechanisms in different areas, such as neural networks, adaptive control systems and learning automation. They have a common characteristic – that they all adjust their parameters or structure when running to adapt the environment or improve the performance. They have common research problems as well. So it is of great value to build a common research platform (mathematic description and unified structure). This paper intends to give a unified framework for learning systems. By idea of componentialization, functions or learning system is componentialized to some blocks with interface and operation regulations-components. A unified componentialized framework of learning systems is presented and useful for neural networks, adaptive control systems and learning automation.

Key words: learning system; componentialization; componentialized framework

1 引言(Introduction)

学习系统是一个广泛的概念, 指能够在运行过程中进行自我调整的系统. 不同领域的学习系统包含神经网络、自适应控制和学习自动机等. 相关的研究包括模糊逻辑、基因算法等^[1~6]. 关于学习系统的研究呈现多样性和分散性, 不同领域所进行的研究往往依托不同的实现机制和不同的学习算法. 这些研究之间具有较大的相通性. 因此, 建立一个关于学习系统研究的基础具有很大的意义. 作者试图在结构上给出一个统一的学习系统的框架, 文章中采用组件化的思路, 把学习系统的功能组件化为

一些具有接口和规范的模块(组件), 建立一个适用于不同形式的学习系统的组件化框架, 在这基础上, 对神经网络和自适应控制系统进行了研究, 把它们的结构统一到这个框架.

2 组件化(Componentialization)

组件化的想法是指把系统在结构和功能上分离为具有输入输出规范的模块(称之为组件), 每个组件执行系统中的一部分功能, 整个系统则以组件协作的方式进行. 典型的如计算机系统, 它是由 CPU, RAM, 硬盘等组件构成的系统, 各自的功能实现都以一定的规范进行, 组件在整个系统中的功能实现

通过接口来实现,由系统的运行机制来保证各个组件的协作^[7].

组件化的系统架构具有两方面的优点:1) 功能实现的自主性,组件以嵌入的方式参与系统,在符合规范的基础上,在功能实现上享有完全的独立性和自主性;2) 分布式的研发模式,系统的研究和开发能够按照组件由不同的团体来进行,使得一个系统可以结合众多方面的研究和开发.

对一些基本的概念作出定义:

1° 组件.组件是符合一定的输入输出规范的功能模块,以接口与介相连,进行信息的交互;

2° 介.介是信息的载体/媒体;

3° 接口.定义了一定输入输出规范的组件和系统的连接方式;

4° 组件化的系统.一个组件化的系统是组件以接口的方式与介相连,并借此交互信息,相互协作而形成的系统.

3 学习系统的组件化框架(Componentialized framework of learning system)

学习系统的原理包含两个方面,即一个自身可改进的学习主体以及学习主体根据环境进行改变的规律——学习算法.包含这两个方面的学习系统可以表示为图1所示的组件化框架.它包含学习主体、算法组件、评价组件和执行组件4个部分,分别以接口a~d参与学习系统.学习系统与外界的交互形成接口e和一个虚拟的组件——应用上下文.学习系统本身则又可以看作一个集合了运行机制和信息交互协调的组件(如虚线框所示),类比计算机的主板.图中的①②③④⑤⑥分别为系统中信息传递的介.下面分别说明各个组件的功能.

1) 学习主体,①→②,⑥→.

学习主体是学习的承载者和表现者,通常包含可变的结构或者参数,如包含可变输入权值的或结构可变的神经网络,带有可变参数的控制模块(自适应控制)、知识库(专家系统)等.学习主体以接口a与系统相连,分别与介①②③④⑤⑥进行交互,实现两部分功能:1°输入①到输出②的传输;2°根据学习驱动信号(简称学习信号)⑥调整自身的结构和参数(即学习).

2) 算法组件,②④⑤→⑥.

算法组件集合了学习主体的变化规律,即学习算法.它以接口b参与系统,根据主体输出②、目标输出④和信号评价⑤给出驱动主体进行学习的信号⑥.

3) 评价组件,④→⑤.

评价组件体现对目标输出的期望,它以接口c参与系统,根据目标响应④给出评价值⑤,以表示响应信号的优劣程度或者和目标之间的误差.

4) 执行组件,②→③.

执行组件起到把学习主体的输出②转换为系统输出③的作用,是学习主体与应用环境交互的中间环节.在理论上研究时,它可以是一个空置的环节(即主体输出等于系统输出);而在实际应用中,它通常对应具体的装置或设备,如机械手、信号转换器等.

5) 应用上下文.

学习系统通过介①③④与外界发生交互而好比面对一个虚拟的组件,称之为应用上下文.应用上下文在系统输入、系统输出和目标输出之间发生关联,不同的关联方式形成不同的应用问题.

最后,学习系统本身则演化为一个具有多个接口,在内部对各组件输入输出进行协调,组织运行的组件.在实现中,它也可以形成一个实际的组件.

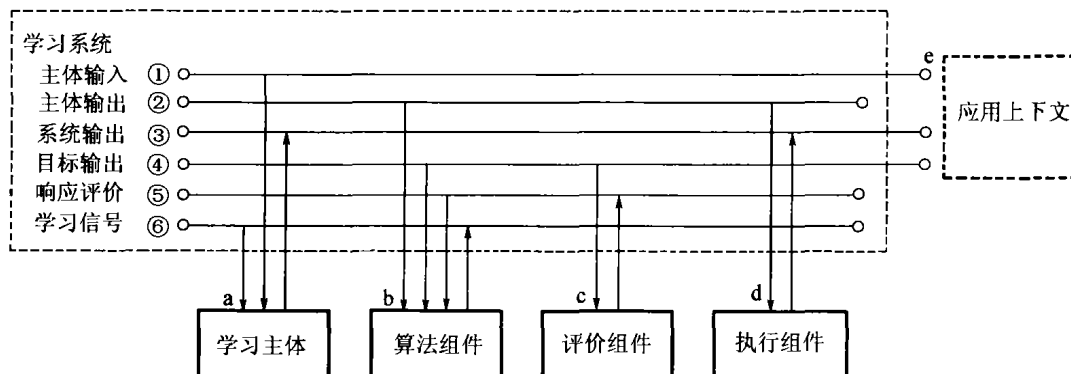


图1 学习系统的组件化框架

Fig. 1 Componentialized framework for learning systems

组件化系统以如下的机制运行:

- 1) 学习主体, ①→②, 学习主体根据外界的响应作出自身的决策和输出;
- 2) 执行组件, ②→③, 执行组件把学习主体的输出转换为系统对外界的输出;
- 3) 应用上下文, 应用上下文使系统输入、系统输出和目标输出之间发生关联;
- 4) 评价组件, ④→⑤, 评价组件对目标输出进行评价, 给出评价信号;
- 5) 算法组件, ②④⑤→⑥, 算法组件根据学习主体的输出、目标输出和目标输出的评价给出学习驱动信号;
- 6) 学习主体, ⑥→, 学习主体在驱动信号下进行自身改变, 即学习;
- 7) 回到1), 循环。

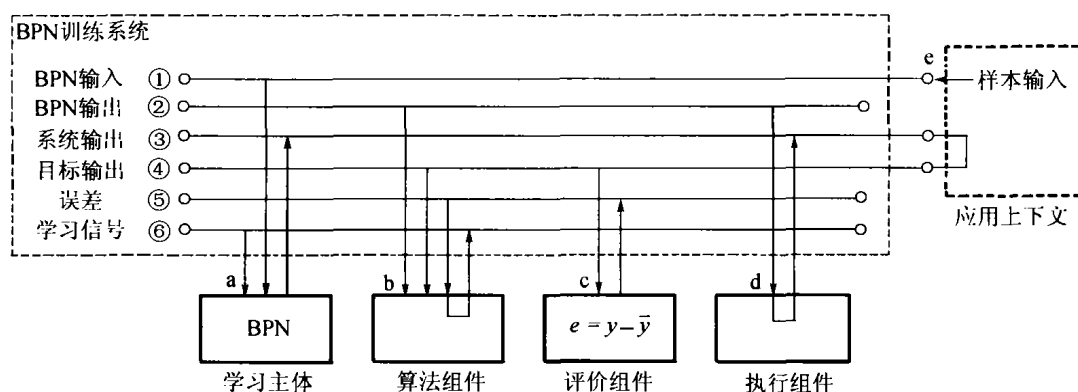


图2 BPN训练系统的组件化框架

Fig. 2 Componentialized framework for BPN training

学习主体即为神经网络本身, 以输出误差为学习驱动信号. 算法组件把输出误差直接传递到 BPN 的学习信号端口. 评价组件在神经网络输出和样本输出之间进行比较, 得出误差 (即两者的差). 执行组件把主体输出和系统输出信号直接相连, 即 BPN 输出即为系统输出. 在应用上下文中, 目标信号等同于 BPN 的输出, 训练的目的在于使 BPN 的输出与样本输出一致。

这里学习主体也集合了主体的学习改变规律, 使得算法组件的功能简化. 在具体实现中, 学习系统的组件化方法并不唯一. 前面的划分方法是把 BPN 和 BP 算法结合在一起. 也可以把 BP 算法放在算法组件中. 而学习主体为单纯的神经网络结构, 在学习信号中包含权值的调整信息. 这样也是一个选择。

4 对几种学习系统的考察 (Investigation on some learning systems)

从学习系统的组件化框架出发, 对神经网络、自适应控制系统和学习自动机这三类已被较多研究的学习系统作出考察, 研究这些系统的组件化。

4.1 前向神经网络的训练学习 (BPN training)

前向神经网络 (BPN) 由几层前向的神经元层构成, 实现从输入到输出的传递功能, 网络中的每个神经元以权值和的方式对输入进行处理^[3]. 它通过各个神经元输入权值的改变进行学习. 在 BPN 训练中, 样本输入被施加到神经网络, 它的输出与样本输出进行比较得出误差, 以误差反传的方法反向逐层调整神经元的输入权值和阈值. 整个训练学习可以表示为图2所示的组件化系统, 它与前面的学习系统组件化框架一致, 是后者的具体化。

4.2 自适应控制系统 (Adaptive control system)

自适应控制系统出现较早, 作为可调整控制系统, 而不是以学习系统或者学习控制系统出现. 之后发展起来的智能控制和学习控制没有明确地把自适应控制系统归纳进来. 实质上, 自适应控制系统在运行的过程中自身发生改变, 完全属于学习系统的范畴。

本节对模型参考自适应控制系统 (MRAS) 作出考察. MRAS 包含一个控制机构和对象组成的闭环和反馈学习调整的外环^[4], 它的控制机构由三个带有可变的参数的控制模块构成. 运行过程中, 闭环的输出和参考模型的输出比较得出误差, 然后根据一定的自适应律对模块参数进行实时调整, 从而优化控制作用, 使闭环输出与参考模型的输出一致. 整个过程可以表示为图3所示的组件化框架。

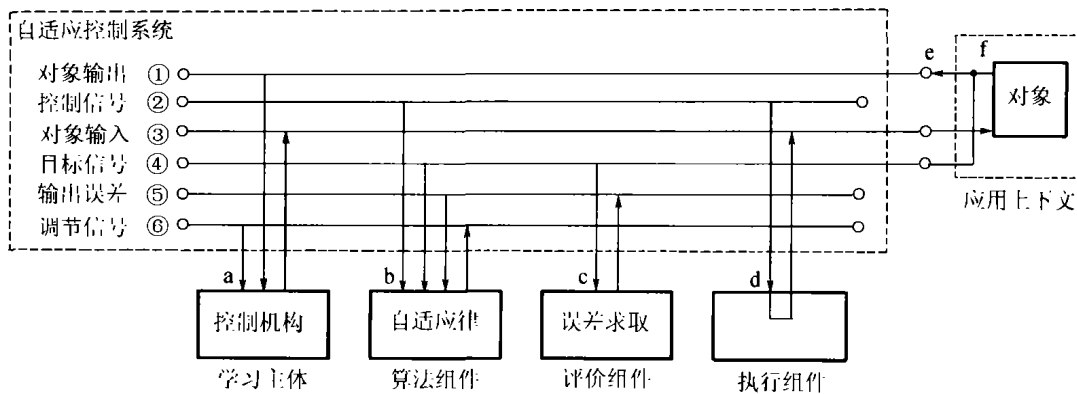


图3 自适应控制系统的组件化框架

Fig. 3 Componentized framework for adaptive control system

由3个带有可变参数的控制模块构成的控制机构担任学习主体(如图4).模块参数的改变由调节信号来驱动,后者包含各参数的调整信息.调节信号由自适应律根据输出误差得出,自适应律包含学习系统的算法组件中决定控制机构的变化规律和调整策略.误差求取组件则比较闭环输出与参考模型输出,参考模型模块作为组成部分结合在其中.在应用上下文中,自适应控制系统的输出即为对象的控制信号,对象的响应为系统的目标信号,它们的连接形成了控制应用问题(见图4),这种形式的应用上下文是非常普遍的.

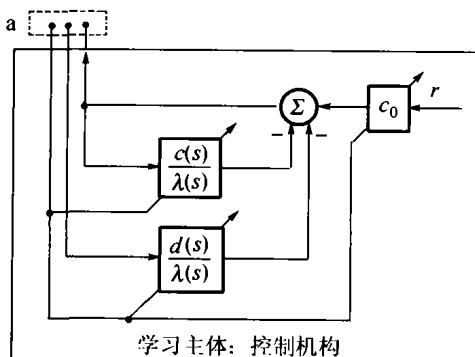


图4 控制机构的内部结构

Fig. 4 Structure of the adaptive control block

参考文献(References):

- [1] 孙增圻,张再兴,邓志东.智能控制理论与技术[M].北京:清华大学出版社,1997.
(SUN Zengqi, ZHANG Zaixin, DENG Zhidong. *Intelligent Control Theory & Technology* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997.)
- [2] NAJIM K, OPPENHEIM G. Learning systems: Theory and application[J]. *IEE Proceedings-E*, 1991, 138(4): 183 - 192.
- [3] 余英林,李海州.神经网络与信号分析[M].广州:华南理工大学出版社,1996.
(YU Yinglin, LI Haizhou. *Neural Networks and Signal Processing* [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1996.)
- [4] 韩曾晋.自适应控制[M].北京:清华大学出版社,1995.
(HAN Cengjin. *Adaptive Control* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995.)
- [5] NARENDRA K S. Learning automation—a survey [J]. *IEEE Trans on System, Man, and Cybernetics*, 1974, 4: 323 - 334.
- [6] NARENDRA K S, LAKSHMIVARAHAN S. Learning automation—a critique [J]. *Cybernetic Information Science*, 1977, 1: 53 - 65.
- [7] 董苗波.学习系统的广义数学定义和组件化研究[D].杭州:浙江大学,2002.
(DONG Miaobo. *An extensive mathematic definition and componentization research on learning systems* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2002.)

作者简介:

董苗波 (1976—),男,2002年于浙江大学控制系获得博士学位,现在清华大学深圳研究生院从事博士后工作,研究方向为学习控制、智能控制、人机协作、无人机控制等, E-mail: mbdong@sina.com;

孙增圻 (1943—),男,1966年毕业于清华大学自动控制系,1981年在瑞典获得博士学位,现为清华大学计算机系教授,博士生导师,主要从事智能控制、机器人、神经网络及模糊系统等方面的研究。

5 小结(Summary)

文章给出了学习系统的一个组件化框架,并在此基础上对神经网络和自适应控制系统进行了考察,研究了它们的组件化.把这个的组件化框架推广到采用不同机制的学习系统.限于篇幅,本文中对学习系统的组件化框架的阐述以及对不同学习系统的考察研究较为简要,未对其中的具体方法作进一步的阐述.鉴于学习系统的综合统一性的研究较为缺少,作者的工作是初步性的,尚需作进一步的研究.