

# 机器学习研究的发展现状与动向

杨忠祥

(中国科学院自动化研究所, 北京)

**提要** 机器学习是人工智能的一个重要问题, 也是一个难题。本文扼要地介绍了机器学习的概念及定义, 机器学习的基本形式及分类, 以及几种基本学习方法。同时也回顾了它的简史以及现阶段出现的一些新的研究动向。

## 1 引言

学习能力是人类智能的根本特征。人从出生开始就不断地向客观环境学习。人的认识能力和智慧才能就是在毕生的学习中逐步形成, 发展和完善的。因此, 利用计算机之类的机器来模拟与实现各种形式的学习行为, 也就是机器学习 (Machine Learning) 的研究对于发展与智能有关的科学技术具有重大的意义。

人工智能的研究就是在五十年代中期以学习机作为主要内容开始的。三十年来机器学习的研究经历了一段曲折而艰难的发展道路, 历经起伏后最后又形成了一个新的高潮。它已成为人工智能中最富于挑战性的一项长远研究目标。为了迎接这个新形势, 美国1980年在卡内基梅隆大学CMU召开了第一届机器学习学术讨论会, 总结交流了这方面的研究工作。

## 2 学习的含义和人机学习的比较

学习与训练一直是心理学的主要研究内容, 学习的心理学定义也在不断发展。人工智能的奠基人之一, 诺贝尔经济奖金获得者, CMU的心理学教授H. A. Simon(1983)认为对学习这一概念比较好的定义是: “系统为了适应环境而产生的某种长远变化, 这种变化使得系统能够更有成效地在下一次完成同一或同类工作。”这个定义和过去的传统定义“学习是在与环境的相互作用中积累经验以改善其性能的心理过程”并无实质上的不同。

对于人类学习和机器学习的比较, Simon认为人的学习过程非常缓慢, 并且还不能复制。它是一个多次反复, 易受干扰的低效率过

程。而机器学习在很大程度上可以克服人的弱点。机器能够比人更迅速而高效率地通过学习获得知能与技能 (只是目前还不能完全做到, 特别是在感知能力上), 而且学习方法与内容可以大量复制, 而人脑是无法复制的, 因此机器学习的研究一直是人工智能的重要基础之一。

## 3 机器学习的研究目标

机器学习有三个主要研究目标。

- 建立模拟人类学习过程的学习模型, 以深入研究学习过程的神经生理机制和心理学本质。

- 发展各种学习理论, 以探讨所有可能的学习方法及其算法。

- 面向应用建立各种智能学习系统, 也就是具有学习能力的人工智能系统, 它能在工作中不断地完善自己的性能与知识库。

这三方面的研究是互相促进的。深入了解人的学习机制有助于发展学习理论与建立应用学习系统。但人的学习方法不是唯一的, 发展学习理论可以改善人的学习方法和系统的性能。

## 4 机器学习的研究意义

机器学习系统的研究不仅有重要的科学意义, 而且还有实用价值。

生物和人在环境中如何形成技能以及人在学习中如何获得概念与知识的问题, 长期以来就成为神经生理学、心理学、控制论、教育学乃至哲学等学科的重要研究内容。因此机器学习的研究对这些学科的发展具有重要意义。

机器学习在实用上也是必需的, 计算机的

收到本文的时间是1986年7月19日。

软件程序设计已成为一个异常繁重的工作,机器学习可以使计算机学到编程序的技能,自动编程以减轻程序员的沉重负担。

目前,人工智能中发展的知识基系统如专家系统、语言理解系统等,需要向人或专家不断学习以掌握语言技能和专业知识,以不断提高系统自身的水平。对于人类专家来说,计算机开始只是一个“学徒”系统,只有不断地学习才能成为真正的,具有丰富经验的“专家”系统。

因为学习与教学训练是密切联系的过程。所以深入研究学生的学习过程,向学生“学到”反映学生状况的学生模型,有助于建立因材施教的智能教学系统或教学专家系统。

尤其是最近发展的第五代计算机,实际上就是一个具有推理、联想与学习三大功能的人工智能计算机。推理与联想的功能也只有通过学习才能不断地充实与完善。不但如此,计算机识别音声与图形的能力,也只有通过机器学习的方法在将来取得较好的解决。

因此被公认为“机器学习先驱”的Samuel (1983)认为:机器学习仍应是人工智能的中心问题,而且也是极端重要的理论基础。没有魄力宣布这一点是人工智能的成就没有能达到预期目标的重要原因。他认为:具有完善智能接口的人机系统,只有在机器学习取得重大进展以后才有成功的可能。

## 5 机器学习的两种基本形式

学习行为的形式很多,例如产生与获取新的知识,通过训练提高运动与语言技能,通过实验观察形成假设与理论等,但总括起来是两种基本形式:知识获取(Knowledge Acquisition)和技能精练(Skill Refinement)。

5.1 知识获取包括有专家系统向人类专家取得经验性知识的过程,还有根据客观事实总结规律的假说形成与理论发现过程。这些知识包括有事物概念的描述以及事物之间的联系和因果关系。这些知识往往表现成为符号信息。所以知识获取实际上就是通过学习获取新的符号信息并加以利用。

5.2 技能精练又称为技能习得或技能细化。所谓技能主要指认知能力(视听)、语言能力和运动能力等,例如识字、辨音、会话、机器人运动、骑车等等。书本知识不过是获得技能的开始,机器学习主要过程还在于技能的细化和精练与运动的协调。其方法一般是反复实践与纠偏的过程。

知识获取与技能精练有所区别。知识获取本身是一个有意识过程,而技能精练通常是下意识的反复实践过程。前者的知识一般是符号信息,而后者的技能一般是非符号信息或两种信息的混合。自适应控制的学习系统实际上就是一种技能习得系统。

## 6 机器学习的分类体系

人工智能的机器学习系统最主要的是按学习策略或方法分类,其次是根据所学的知识或技能的表现法(representation)分类,也可以按应用领域分类。这三种分类依据构成了一个分类空间。每一种机器学习系统相当分类空间的一个点或几个点(因为有混合策略或多方面的应用)。总的来说,现有机器学习的种类还不多。

6.1 按学习策略分类。其分类主要是按学习系统对外界信息在加工时所需推理工作量的多少排序,少的排前,多的排后。推理工作愈多,需要教师或外界环境提供信息的负担就愈小。

6.1.1 硬记式学习(rote learning)或知识植入式(即填鸭式)学习。它不需要系统作任何信息转换或推理。这种知识获取方法还可分为:

- 程式学习(learning by being programmed)。这时外界教师或程序员的负担最大,因为每个细节都要编成繁多的程序。

- 记忆式学习(learning by memorization)。这时机器只记忆或存储各种知识信息但并不用来推理。这是硬记(rote)一词的本义。

6.1.2 讲授式学习(learning from instruction)。也称为被告知的学习(learning by being told)或指点式学习(即咨询式学

习(advice taking learning)。这就是常见的课堂教学方式,它要把教师讲授或来自书本的知识,从自然语言转化为内部表现形式后,利用已有知识进行推理(主要是直推或演绎)并转换成可用形式,但主要工作量要由教师或书本承担。例如MYCIN专家系统的知识获取系统TEIRESIAS。

**6.1.3 类比法学习 (learning by analogy)。**主要利用已有知识学得完成类似工作的知识,例如汽车司机学开拖拉机的技能习得。其方法是检索利用已有的开车知识,通过类比推理转换成开机的知识以适应新情况。类比推理的工作量比上两种学习大。

机器学习常用归纳推理来获得知识或技能,它用于下列各种学习策略。

**6.1.4 示例学习或用例子学习 (learning from examples)。**它是归纳推理的特殊情况,先给出一个概念的正反例子或样品,然后归纳出一般的概念。因为无类似例子可引,推理工作量更大。

示例学习可以根据信息源、例子种类与示例方式再分。

- 按信息源可分为:①有教师提供例子或样品的数据及其概念;②由学习者根据已有知识自提样品数据,由教师或外界指出正反情况;③由环境提供随机数据与概念,由学习者设法利用已有知识得出概念的描述。

- 按例子类型可分为:①只有正例;②正反例并用,这是最常用的归纳学习方法;③由外界提供随机例。

- 按例子提供方式分为:①一次性学习(one-trial),例子一次全部给出;②递进性学习(incremental),例子逐个给出,这比较符合多数事物的学习规律。

上述各种学习策略都需要人做指导并提供样品,而下面三种学习就不需要外界指导而统称无监督学习(unsupervised learning),用的是归纳推理。

**6.1.5 在观察中学习 (learning from observation)。**直接观察事物的全体(不予

选样本),并从中找出事物的类别,也就是聚类法(clustering)。

**6.1.6 在实验中学习 (learning by experimentation)或做中学(learning by doing)。**对事物进行人为干预后观察其后果来学习,以找出事物的联系规律,又名主动的观察学习。

**6.1.7 发现式学习 (learning by discovery)。**利用创造性思维的经验策略即启发式(heuristic)发现被研究事物的规律。它需要大量的归纳推理。

**6.2 按学得知识的表现式分类。**

**6.2.1 非符号或参数学习。**例如代数式的加权系数。

**6.2.2 符号表达式 (例如逻辑式、形式文法、程序等)。**

**6.2.3 结构性知识 (例如图与网络、框架与图式、分类层次)。**

**6.2.4 过程性知识,**主要用过程编码或产生式;其中的产生式学习系统已成为机器学习系统的主要类型。因为产生式系统已成为人工智能系统的主要类型。

## 7 机器学习的简史与发展动向

机器学习的发展可以分为三个阶段。第一阶段是从50年代中期开始的学习机高潮。其学习机的研究主要方向是建立以神经元模型为基础的学习网络所构成的机电装置,著名的例子就是Rosenblatt的感知器(Perceptron),但没有获得预期的成功,从而进入了所谓的悲观时期。但这种研究一度促进了模式识别与自动控制中学习系统的理论研究,形成了一套以统计决策理论和方法为基础的参数学习系统,但只取得了有限的成就。

开辟机器学习研究新纪元的是Samuel (1959—1967)在计算机上实现的跳棋学习程序,它能不断地在比赛中总结经验改进战术,终于战胜跳棋大师而大获成功。Samuel从此在人工智能界中被著称为“机器学习的先驱”。

从60年代开始了机器学习的第二阶段。从参数学习转向符号概念的学习。著名的例子有Feigenbaum (1963)的言语学习模型。

Winston (1970) 的结构学习系统, 用正反例学习拱的概念, Waterman(1975) 发展了产生式自适应系统, 能学得联想规则。

机器学习的第三阶段是从 70 年代中期开始直到现在。这 10 年开始从以往的孤立概念的学习转向具有应用意义的知识基系统的学习, 著名的例子就是第一个专家系统——质谱分析系统 DENDRAL 的学习系统 Meta-DENDRAL

(Buchanan & Mitchell, 1977), 它能学习样品化合物的质谱图来“强化”即补充修正系统已有的知识库——裂解规则。这些应用研究表明: 以往“从无到有”的“知识贫乏型”学习系统并不切合实际, 而且学习系统的学习策略不能只限于常用的示例学习, 因而出现了许多应用新学习原理的学习系统。最著名的例子是 Langley (1977—1981) 的发现系统 BACON, 它通过学习重新发现物理学的几个定律。

因此, 现阶段的机器学习研究出现了下面一些新动向。

- 强化知识型的学习系统。机器学习的研究者认为: 面向应用的知识及其约束条件对引导学习具有重要作用。学习系统必须是有大量初始知识的“知识丰富系统”, 机器学习的作用主要是强化已有的知识。

- 深入研究各种新的学习策略。除了一般的示例与硬记学习系统以外, 本文中机器学习分类体系所列举的各种学习策略在这一阶段都做出了引人注目的成果, 尤其在讲授、类

比、观察、实验、发现等学习系统方面都出现了新的成就。

- 自动生成与选择学习任务。某些系统能够自动控制学习系统的各个环节, 自动形成学习目标与选择学习用外界信息, 以提高学习效果。

## 8 结束语

上面简要地介绍了人工智能中机器学习的研究内容、发展史、现状与动向。这篇短文不可能对机器学习的研究成果作全面详细的说明, 但是我们可以看到: 机器学习系统已被公认为发展完善的人工智能所必不可少的。尽管三十年来的发展是曲折的, 机器学习已成为人工智能的重要基础和长远研究目标, 并且已取得了不少成就, 出现了新的形势和诱人的前景。

## 参考文献

1. Simon H A. Why should machine learn? Machine learning, Tioga, 1983, 25—37
2. Samuel A L. AI, where it has been and where it is going. Proceedings of IJCAI-83, Karlsruhe, 1983, 1152—1157
3. Carbonell J G et al. An Overview of Machine Learning. Machine Learning, Tioga, 1983, 3—23
4. Mitchell T. Learning and Problem Solving. Proceedings of IJCAI-83, 1983, 1139—1151
5. 杨忠祥. 智能学习系统及其应用. 人工智能研究进展, 中国人工智能学会第三届会议论文集, 1984, 47—63

## Status Quo and Trends of Machine Learning

YANG Zhongxiang

Machine learning is an important and difficult problem in artificial intelligence. This article gives a brief account of it, including its origin, fundamental ideas, definitions, basic forms, basic methods, classification, and some new trends of research and development.