

杨善林 倪志伟 著

# 机器学习与 智能决策支持系统



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

(TP-2355.0101)

ISBN 7-03-012814-1



9 787030 128140 >

ISBN 7-03-012814-1

定价: 35.00 元

# 机器学习与智能决策支持系统

杨善林 倪志伟 著

国家自然科学基金资助项目(项目编号:79970058,70171033)

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

机器学习的研究不仅是人工智能研究的重要问题,而且已成为计算机科学与技术的核心问题之一。智能决策支持系统是将人工智能技术引入决策支持系统而形成的一种新型信息系统。本书首先研究了机器学习的基本概念,在此基础上,详细研究了归纳学习、范例推理、粗糙集、遗传算法等经典学习方法;本书后半部分首先介绍了智能决策支持系统的有关概念,接着详细探讨了基于几类具体机器学习技术的智能决策支持系统,不仅研究了基于机器学习的智能决策支持系统的框架结构,而且针对各种不同的机器学习技术,研究了具体的智能决策支持系统,包括:基于神经网络的智能决策支持系统,基于范例推理的智能决策支持系统,基于遗传算法的智能决策支持系统,基于归纳学习的智能决策支持系统,基于粗糙集的智能决策支持系统,并就最新机器学习技术的发展与智能决策支持系统的结合进行了研究。最后,本书研究了智能决策支持系统中若干相关的高新技术。

本书可作为高等学校信息管理与信息系统、电子商务、计算机科学和技术等专业本科生和研究生用书,也可供计算机应用软件开发人员和相关研究人员作为参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

机器学习与智能决策支持系统/杨善林,倪志伟著. —北京:科学出版社, 2004

ISBN 7-03-012814-1

I. 机… II. ①杨…②倪… III. ①机器学习 ②智能决策—决策支持系统 N. ①TP181 ②TP399

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 005697 号

策划编辑:马长芳/文案编辑:邱璐 贾瑞娜/责任校对:钟洋  
责任印制:安春生/封面设计:北新华文

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004年5月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004年5月第一次印刷 印张:24 3/4

印数:1—3 000 字数:470 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

## 前 言

机器学习是人工智能研究中最早的课题之一,也是人工智能中最具有智能特征和最前沿的研究课题之一。机器学习的重大进步往往意味着人工智能研究向前迈进了坚实的一步。机器学习在自然语言理解、非单调推理、机器视觉、模式识别等领域得到了普遍应用,尤其在基于知识的系统和决策科学中的应用,得到了广泛开展。机器学习在智能决策支持系统中的应用也越来越受到专家和学者们的重视。

20 世纪 70 年代初诞生的决策支持系统(DSS),发展至今已有 30 多年了。随着计算机技术的广泛而深入的应用,各行各业对决策支持都提出了更高的要求。80 年代,在决策支持系统中引入了人工智能技术,从而形成了智能决策支持系统(IDSS)的概念。智能决策支持系统是决策支持系统与人工智能技术相结合的产物,它将许多智能技术和思想引入到决策支持系统之中。它是以信息技术为手段,应用计算机科学、管理科学、数理统计等相关理论和方法,针对半结构化和非结构化的问题,为管理人员做出正确决策提供智能型人机交互信息系统。实践表明,只有当决策支持系统具有丰富的知识和较强的学习能力时,才能提供更为有效的决策支持。针对智能决策支持系统存在的问题,研究一种基于机器学习的智能决策支持系统,增加学习部件,提高系统的学习能力,对于改善决策的智能水平,提高系统的性能和应用效果,具有重要的理论意义和较高的实际价值。

本书作者长期从事管理信息系统、决策理论与方法、人工智能、机器学习等理论和应用研究,先后完成了国家自然科学基金课题、国家“十五”攻关课题、中央财政专项课题、教育部重点课题、博士点基金项目、安徽省攻关课题以及企业委托的课题,先后获得多项省部级奖。本书正是对多年来相关领域研究成果的总结。本书总结了多年开发决策支持系统的体会,并充分利用计算机技术、决策理论、建模技术、行为科学等研究成果,从提供有效的决策支持的角度出发,进行需求分析、环境条件分析和实施方法的研究。

本书首先研究了机器学习的基本概念,并详细研究了归纳学习、范例推理、粗糙集、遗传算法等经典学习方法;然后介绍了智能决策支持系统(IDSS)的有关概念,提出了基于一些具体机器学习技术的智能决策支持系统;最后,本书研究了智能决策支持系统相关新技术的最新发展。全书共分八章,第 1 章阐述了机器学习和智能决策支持系统的基本概念;第 2 章至第 5 章着重研究了归纳学习、范例推理、粗糙集、遗传算法等机器学习技术;第 6 章叙述了决策支持系统的基本框架,研究了在智能决策支持系统融入机器学习的思想与方法;第 7 章重点研究了基于各类具体机器学习的智能决策支持系统;第 8 章讨论了智能决策支持系统中相关新技

术的发展。

本书由合肥工业大学杨善林教授、倪志伟教授主编,各章的编著者如下:第1章:杨善林;第2章:赵鹏;第3章:倪志伟;第4章:李建洋;第5章:贾兆红;第6章:李学俊;参与第7章编写的同志有:倪志伟,刘业政,胡彩平,赵鹏,李建洋,贾兆红,马猛,贾瑞玉;参与第8章编写的同志有:倪志伟,马猛,唐理兵,梁昌勇、贾瑞玉。杨善林和倪志伟教授负责全书的策划和大纲的制订,倪志伟教授负责全书的统纂和修改。

在本书的编著过程中,参考了大量的国内外有关研究成果,在此对所涉及的专家和研究人員表示衷心的感谢。刘业政教授仔细地审阅了全部书稿,提出了许多有价值的建议,并在书稿写作后期参与协调;合肥工业大学计算机网络系统研究所的马溪骏、刘心报、梁昌勇、李锋刚、何建民、李兴国、毛学岷等老师对本书的撰写给予了极大的关心和支持,在此谨向他们表示诚挚的谢意。另外,科学出版社的编辑为本书的出版付出了大量的心血,特此致谢。本书还得到了两项国家自然科学基金项目(项目编号:79970058,70171033)的资助,在此表示感谢。

经过多年的研究,我们深深感到有关智能决策支持系统的研究是综合性的,机器学习的发展也是十分迅速的。在机器学习和智能决策支持系统相结合的领域里,需要研究的问题很多,希望本书的出版能成为我们继续研究的新起点。书中错误和不妥之处请各位专家和读者不吝指教。

作 者

2003 年 11 月 8 日

# 目 录

## 前言

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>第 1 章 绪论</b> .....              | 1  |
| 1.1 机器学习发展史 .....                  | 1  |
| 1.1.1 引言 .....                     | 1  |
| 1.1.2 热烈时期 .....                   | 2  |
| 1.1.3 冷静时期 .....                   | 3  |
| 1.1.4 复兴时期 .....                   | 3  |
| 1.1.5 蓬勃发展时期 .....                 | 4  |
| 1.2 机器学习研究基础 .....                 | 6  |
| 1.2.1 机器学习的一个实例 .....              | 6  |
| 1.2.2 机器学习的基本模型 .....              | 7  |
| 1.2.3 机器学习的主要策略 .....              | 9  |
| 1.2.4 机器学习的算法基础 .....              | 14 |
| 1.3 计算学习理论 .....                   | 17 |
| 1.3.1 可能近似正确学习模型(PAC) .....        | 18 |
| 1.3.2 有限假设空间的样本复杂度 .....           | 20 |
| 1.3.3 与 PAC 模型有关的几种模型 .....        | 21 |
| 1.3.4 假设空间复杂度的一个重要度量标准——VC-维 ..... | 24 |
| 1.4 智能决策支持系统 .....                 | 25 |
| 1.4.1 智能决策支持系统发展过程 .....           | 25 |
| 1.4.2 IDSS 的系统功能与体系结构 .....        | 27 |
| 1.4.3 IDSS 的主要研究内容 .....           | 29 |
| 1.4.4 智能决策支持系统的发展趋势 .....          | 31 |
| 1.5 机器学习与智能决策支持系统 .....            | 33 |
| 1.5.1 基于知识的 IDSS 发展中存在的问题 .....    | 33 |
| 1.5.2 对智能的探讨 .....                 | 35 |
| 1.5.3 基于机器学习的 IDSS 框架 .....        | 36 |
| 1.5.4 机器学习在智能决策支持系统中的应用 .....      | 38 |
| 参考文献 .....                         | 40 |
| <b>第 2 章 归纳学习</b> .....            | 41 |
| 2.1 概述 .....                       | 41 |

|            |                     |           |
|------------|---------------------|-----------|
| 2.2        | 归纳学习                | 42        |
| 2.2.1      | 规则学习                | 42        |
| 2.2.2      | 决策树学习               | 43        |
| 2.2.3      | 科学发现                | 44        |
| 2.2.4      | 特征子集选择问题            | 45        |
| 2.3        | 归纳学习的逻辑基础           | 45        |
| 2.3.1      | 归纳逻辑与归纳推理           | 45        |
| 2.3.2      | 归纳推理规则              | 47        |
| 2.3.3      | 归纳学习中的知识表示          | 50        |
| 2.3.4      | 归纳偏置                | 52        |
| 2.4        | 决策树归纳学习             | 54        |
| 2.4.1      | 例子                  | 54        |
| 2.4.2      | CLS 学习算法            | 55        |
| 2.4.3      | ID 系列学习算法           | 56        |
| 2.4.4      | C4.5 学习算法           | 64        |
| 2.5        | 关于决策树的深入讨论          | 65        |
| 2.5.1      | 决策树的评价标准            | 65        |
| 2.5.2      | 由决策树提取分类规则          | 67        |
| 2.5.3      | 测试属性的选择             | 68        |
| 2.5.4      | 树剪枝                 | 70        |
| 2.5.5      | 测试属性空间的修改           | 75        |
|            | 参考文献                | 77        |
| <b>第3章</b> | <b>范例推理</b>         | <b>79</b> |
| 3.1        | 引言                  | 79        |
| 3.2        | CBR 研究的历史和现状        | 80        |
| 3.3        | CBR 中范例的表示方法及检索技术   | 82        |
| 3.4        | CBR 的修正技术           | 86        |
| 3.5        | CBR 系统的维护           | 89        |
| 3.5.1      | 引言                  | 89        |
| 3.5.2      | 相关工作                | 90        |
| 3.5.3      | CBR 系统中范例库维护的定义及其构架 | 93        |
| 3.6        | 基于数据挖掘技术的范例推理系统     | 94        |
| 3.6.1      | 引言                  | 94        |
| 3.6.2      | 范例推理中基于数据库的数据挖掘技术   | 95        |
| 3.6.3      | 范例库上知识发现的主要步骤与目标    | 96        |
| 3.6.4      | 范例库上知识发现的主要方法与技术    | 97        |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 3.6.5 基于知识发现技术的 CBR 系统框架结构 ..... | 99  |
| 3.7 基于神经网络的 CBR 系统 .....         | 101 |
| 3.7.1 范例推理与神经网络 .....            | 101 |
| 3.7.2 用 IAC 网络来构造 CBR 系统 .....   | 102 |
| 3.8 CBR 方法与其他方法的集成 .....         | 105 |
| 3.8.1 相关研究 .....                 | 106 |
| 3.8.2 归纳技术与范例推理的结合 .....         | 107 |
| 3.8.3 范例推理与专家系统的结合 .....         | 108 |
| 3.9 CBR 的进一步研究方向 .....           | 110 |
| 参考文献 .....                       | 112 |
| <b>第 4 章 粗糙集</b> .....           | 117 |
| 4.1 概述 .....                     | 117 |
| 4.1.1 粗糙集理论发展简史 .....            | 117 |
| 4.1.2 粗糙集理论基本思想 .....            | 118 |
| 4.1.3 粗糙集与其他不确定方法的比较 .....       | 120 |
| 4.1.4 粗糙集理论研究现状 .....            | 121 |
| 4.2 基本概念 .....                   | 123 |
| 4.2.1 知识与分类 .....                | 123 |
| 4.2.2 不可分辨关系 .....               | 125 |
| 4.3 粗糙集的基本理论 .....               | 126 |
| 4.3.1 上近似集和下近似集 .....            | 126 |
| 4.3.2 粗糙集中概念的物理意义 .....          | 126 |
| 4.3.3 近似集的性质和近似精度 .....          | 128 |
| 4.3.4 粗糙集的集合关系 .....             | 130 |
| 4.4 知识的约简 .....                  | 132 |
| 4.4.1 知识的约简和核 .....              | 132 |
| 4.4.2 知识的相对约简和相对核 .....          | 133 |
| 4.4.3 知识的依赖性度量 .....             | 135 |
| 4.5 决策表达逻辑 .....                 | 136 |
| 4.5.1 数据表知识表达系统 .....            | 136 |
| 4.5.2 决策表 .....                  | 137 |
| 4.5.3 决策逻辑 .....                 | 139 |
| 4.5.4 决策表的约简 .....               | 140 |
| 4.5.5 属性约简的差别矩阵方法 .....          | 143 |
| 4.5.6 差别矩阵方法的约简 .....            | 145 |
| 4.6 粗糙集的具体实现和应用 .....            | 146 |

|            |                            |     |
|------------|----------------------------|-----|
| 4.6.1      | 离散归一化 .....                | 146 |
| 4.6.2      | 引入领域知识的数据约简 .....          | 147 |
| 4.6.3      | 医疗数据分析 .....               | 148 |
| 4.6.4      | 模式识别 .....                 | 150 |
| 4.7        | 相似粗糙集及其应用 .....            | 153 |
| 4.7.1      | 相似粗糙集理论 .....              | 153 |
| 4.7.2      | 相似粗糙集的应用:气象系统权值发现 .....    | 154 |
|            | 参考文献 .....                 | 158 |
| <b>第5章</b> | <b>遗传算法</b> .....          | 160 |
| 5.1        | 遗传算法的主要特征 .....            | 160 |
| 5.1.1      | 标准遗传算法 .....               | 161 |
| 5.1.2      | 遗传算法的优缺点 .....             | 164 |
| 5.2        | 遗传算法的基本原理 .....            | 165 |
| 5.2.1      | 模式定理(schema theorem) ..... | 165 |
| 5.2.2      | 积木块假设 .....                | 167 |
| 5.2.3      | 欺骗问题 .....                 | 168 |
| 5.2.4      | 隐并行性 .....                 | 171 |
| 5.3        | 遗传算法的关键问题及方法 .....         | 171 |
| 5.3.1      | 编码 .....                   | 171 |
| 5.3.2      | 适应度函数 .....                | 172 |
| 5.3.3      | 遗传操作 .....                 | 175 |
| 5.3.4      | 未成熟收敛问题 .....              | 179 |
| 5.4        | 遗传算法的应用 .....              | 182 |
| 5.4.1      | 遗传算法与知识发现 .....            | 182 |
| 5.4.2      | 遗传算法在神经网络中的应用 .....        | 185 |
| 5.4.3      | 佳点集遗传算法与货郎担问题 .....        | 187 |
| 5.5        | 遗传算法的改进 .....              | 192 |
| 5.5.1      | 统计遗传算法 .....               | 192 |
| 5.5.2      | 并行遗传算法 .....               | 195 |
|            | 参考文献 .....                 | 197 |
| <b>第6章</b> | <b>决策支持系统</b> .....        | 200 |
| 6.1        | 概述 .....                   | 200 |
| 6.1.1      | DSS的产生 .....               | 200 |
| 6.1.2      | 决策支持系统的基本概念 .....          | 202 |
| 6.1.3      | DSS与MIS的关系 .....           | 204 |
| 6.1.4      | DSS在发展中面临的问题 .....         | 205 |

|            |                              |            |
|------------|------------------------------|------------|
| 6.1.5      | DSS的发展趋势 .....               | 207        |
| 6.2        | DSS的基本体系结构 .....             | 210        |
| 6.2.1      | 引言 .....                     | 210        |
| 6.2.2      | 人机交互子系统 .....                | 214        |
| 6.2.3      | 数据库系统 .....                  | 218        |
| 6.2.4      | 模型库系统 .....                  | 221        |
| 6.2.5      | 方法库系统 .....                  | 228        |
| 6.3        | DSS的开发与设计 .....              | 230        |
| 6.3.1      | DSS的开发过程 .....               | 230        |
| 6.3.2      | 决策支持系统的开发方法 .....            | 233        |
| 6.3.3      | 决策支持系统的设计 .....              | 234        |
| 6.4        | 智能决策支持系统 .....               | 235        |
| 6.4.1      | IDSS的三种体系结构及其比较 .....        | 236        |
| 6.4.2      | IDSS的模型库系统 .....             | 238        |
| 6.4.3      | IDSS的知识库系统 .....             | 240        |
| 6.4.4      | IDSS的研究现状和存在的问题 .....        | 244        |
| 6.4.5      | IDSS的研究方向 .....              | 248        |
|            | 参考文献 .....                   | 251        |
| <b>第7章</b> | <b>基于机器学习的智能决策支持系统</b> ..... | <b>254</b> |
| 7.1        | 基于机器学习的IDSS .....            | 254        |
| 7.1.1      | 概述 .....                     | 254        |
| 7.1.2      | 基于机器学习的IDSS的体系结构 .....       | 255        |
| 7.1.3      | 基于机器学习的IDSS知识库和知识表示系统 .....  | 258        |
| 7.2        | 基于神经网络学习的智能决策支持 .....        | 261        |
| 7.2.1      | 神经网络的学习算法 .....              | 261        |
| 7.2.2      | 基于神经网络的IDSS的总体框架 .....       | 266        |
| 7.2.3      | 基于神经网络的IDSS自动模型选择 .....      | 267        |
| 7.2.4      | 基于神经网络和专家系统的IDSS .....       | 268        |
| 7.3        | 基于范例推理的智能决策支持系统 .....        | 270        |
| 7.3.1      | 引言 .....                     | 270        |
| 7.3.2      | 基于范例推理的决策支持系统 .....          | 271        |
| 7.3.3      | 基于数据挖掘和范例推理的IDSS .....       | 274        |
| 7.3.4      | 基于范例的集成推理模型的IDSS .....       | 275        |
| 7.3.5      | 基于范例推理的决策支持系统的应用实例 .....     | 276        |
| 7.3.6      | 总结与展望 .....                  | 277        |
| 7.4        | 遗传算法与智能决策支持系统 .....          | 278        |

|              |                                     |            |
|--------------|-------------------------------------|------------|
| 7.4.1        | 遗传算法在 IDSS 中的应用 .....               | 278        |
| 7.4.2        | 基于遗传算法的决策支持系统模型设计 .....             | 281        |
| 7.4.3        | 一个基于遗传算法的建模实例 .....                 | 285        |
| 7.4.4        | 展望与总结 .....                         | 287        |
| 7.5          | 基于归纳学习的 IDSS .....                  | 287        |
| 7.5.1        | 基于归纳学习的 IDSS 的技术 .....              | 287        |
| 7.5.2        | 应用实例 .....                          | 293        |
| 7.6          | 基于粗糙集的智能决策支持系统 .....                | 294        |
| 7.6.1        | 引言 .....                            | 294        |
| 7.6.2        | 基于粗糙集数据分析的智能决策支持系统 .....            | 296        |
| 7.6.3        | 小结 .....                            | 300        |
| 7.7          | 其他的机器学习技术在 IDSS 中的应用 .....          | 301        |
| 7.7.1        | 基于强化学习的 IDSS .....                  | 301        |
| 7.7.2        | 基于 Bayes 网络的 IDSS .....             | 307        |
| 7.7.3        | 统计机器学习及其在 IDSS 中的应用 .....           | 311        |
|              | 参考文献 .....                          | 315        |
| <b>第 8 章</b> | <b>智能决策支持系统相关新技术的发展 .....</b>       | <b>320</b> |
| 8.1          | 数据仓库 .....                          | 320        |
| 8.1.1        | 数据仓库产生的背景 .....                     | 320        |
| 8.1.2        | 数据仓库的概念 .....                       | 320        |
| 8.1.3        | 数据仓库的特征 .....                       | 321        |
| 8.1.4        | 数据仓库与传统数据库比较 .....                  | 322        |
| 8.1.5        | 数据仓库系统 .....                        | 322        |
| 8.1.6        | 数据仓库系统的结构 .....                     | 325        |
| 8.1.7        | 元数据 .....                           | 326        |
| 8.1.8        | 数据仓库的设计 .....                       | 326        |
| 8.1.9        | OLAP .....                          | 327        |
| 8.2          | 数据挖掘 .....                          | 330        |
| 8.2.1        | 知识发现和数据挖掘概述 .....                   | 330        |
| 8.2.2        | 数据挖掘的功能 .....                       | 331        |
| 8.2.3        | 数据挖掘常用技术 .....                      | 332        |
| 8.3          | 结合数据仓库、OLAP 和数据挖掘的 IDSS .....       | 335        |
| 8.3.1        | 结合数据仓库、OLAP 和数据挖掘的 IDSS 的体系结构 ..... | 335        |
| 8.3.2        | 商业智能 IDSS .....                     | 338        |
| 8.4          | 基于 Agent 的智能决策支持系统 .....            | 342        |
| 8.4.1        | Agent 概述 .....                      | 343        |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 8.4.2 Agent 的类型 .....               | 344 |
| 8.4.3 基于 Agent 的决策支持系统设计方法 .....    | 347 |
| 8.4.4 基于 Agent 的决策支持系统框架结构 .....    | 348 |
| 8.4.5 基于多 Agent 的分布式群体决策支持系统 .....  | 349 |
| 8.4.6 基于 Agent 技术的模型表示及其管理方法 .....  | 350 |
| 8.4.7 IDSS 中 Agent 的机器学习和知识发现 ..... | 351 |
| 8.5 基于地理信息系统的 IDSS .....            | 353 |
| 8.5.1 基于地理信息系统的 IDSS 概念的提出 .....    | 353 |
| 8.5.2 基于地理信息系统的 IDSS 的关键技术 .....    | 354 |
| 8.5.3 基于地理信息系统的 IDSS 的结构框架 .....    | 364 |
| 8.6 IDSS 中的新理论与新技术 .....            | 366 |
| 8.6.1 熵理论及其应用 .....                 | 366 |
| 8.6.2 证据理论 .....                    | 371 |
| 8.6.3 不确定性推理方法在模型管理系统中的应用 .....     | 373 |
| 8.6.4 定性推理及其在 IDSS 中的应用 .....       | 374 |
| 参考文献 .....                          | 380 |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 机器学习发展史

### 1.1.1 引言

人类自古以来就有着用机器代替人脑劳动的幻想。为了实现人类这一美好的愿望,科学家们为之付出了艰辛而不懈的努力。随着信息社会和知识经济时代的来临,学习已经成为大家谈论最多的话题之一。学习无疑是人类智能的主要标志和获得知识的基本手段。然而在信息社会,人类面对海量的信息,仅靠人脑表现出来的自然智能是远远不够的。人类迫切需要用机器去放大和延伸自己的智能,实现脑力劳动的自动化。学习能力是人工智能研究上最突出和最重要的一个方面。机器学习(machine learning)是使计算机具有智能的根本途径。正如 R. Shank 所说:“一台计算机如果不会学习,就不能称之为具有智能。”

由于机器学习是机器具有智能的重要标志,同时也是机器获得知识的根本途径,使得机器学习在机器智能中占有重要地位。自 20 世纪 80 年代以来,机器学习作为继专家系统之后人工智能应用的又一重要的研究领域,在人工智能界引起了广泛的关注,它已成为人工智能的重要课题之一。

关于机器学习的定义有很多种。由于学习是一种综合的心理活动,它与记忆、思维、知觉、感觉等多种心理活动密切相关,人们目前尚未完全清楚其机理,而且学习是一种具有多侧面的实践活动,使得人们很难把握它的本质。因此,什么是学习,至今还没有一个统一的定义。不同领域的研究者分别从不同的学科角度对学习给出了不同的解释,提出了不同的观点。目前被普遍接受的说法是 Simon 对学习的阐述:“如果一个系统能够通过执行某种过程而改进它自身的性能,这就是学习”。这一阐述包含这样三个要点:

1) 学习是一个过程,这是很自然的。

2) 学习是对一个系统而言的,这个系统可以是简单的,一个人或一台机器;也可以是相当复杂的,一个计算机系统,甚至是包括人在内的人机计算系统。显然如果此系统为人,即为我们通常所指的人的学习。在本书中,我们将此系统设定为计算机系统或与计算机系统密切相关的人机系统上。

3) 学习能够改进系统性能。

在 Simon 的阐述中,过程、系统与改进性能这三个学习的要点是宽泛的,对计算机科学家来说,这是远远不够的。

从计算机科学的角度来看机器学习,我们认为可以分为工程的观点和科学的观点。工程的观点认为机器学习是人类学习的计算机实现;科学的观点认为机器学习是人类学习的计算机模拟。这两种观点的区别主要在于,实现是指完成相同的功能,模拟是指把握相同的原理。由于目前人类对自身的思维规律和学习奥秘仍然知之甚少,所以要达到人类学习的计算机模拟还不太现实。目前,人工智能界的主流观点倾向于工程的观点。计算机科学家们主要关注不同系统实现机器学习的过程以及性能改进的效果。

机器学习的目标及研究工作主要包括:①面向任务的研究:研究和分析改进一组预定任务的执行性能的学习系统;②认知模拟:研究人类学习过程并进行计算机模拟,由此建造高性能的计算机系统;③理论性分析:从理论上探索各种可能的学习方法和独立于应用领域的算法,加强机器学习的理论背景研究,规范机器学习的技术、方法和理论。

机器学习已经成为一门新的边缘学科,它与认知科学、神经心理学、逻辑学、教育学和哲学等学科都有着密切的联系,并对人工智能的其他分支,例如专家系统、自然语言理解、自动推理、智能机器人、计算机视觉、计算机听觉等方面,都起到重要的推动作用。因此,机器学习必将具有十分广泛的应用前景。

机器学习是人工智能研究较为年轻的分支。回顾它的发展历程,可以划分为不同的阶段。如何划分这些阶段,有不同的方法。例如,可以按照机器学习的研究途径和目标,将其划分为神经元模型研究、符号概念获取、知识强化学习、连接学习和混合型学习四个阶段;也可以按照机器学习的发展过程,将其分为热烈时期、冷静时期、复兴时期和蓬勃发展时期。下面我们按照后一种划分方法将其分为四个时期。

### 1.1.2 热烈时期

这一阶段是在20世纪50年代中叶到20世纪60年代中叶。在这个时期,所研究的是“没有知识”的学习,即“无知”学习,它的主要研究目标是研制各类自组织和自适应系统。例如,如果给系统一组刺激、一个反馈源、以及修改它们自身组织的足够自由度,那么它们将改变自身成为最优的组织,即它们能够修改自身以适应它们的环境。这类系统主要采用的研究方法是不断修改系统的控制参数以改进系统的执行能力,不涉及面向具体问题的知识。

这一阶段研究的理论基础是早在20世纪40年代就开始的神经网络模型。有的学者将机器学习的起点定为1943年,McCulloch与Pitts对神经元模型(简称为MP模型)的研究。他们的研究的历史意义是在科学发展进程中,首次发现了人类神经元的工作方式,并给出了这种工作方式的数学描述。这项研究在科学史上的意义是非同寻常的,它第一次揭示了人类神经系统的工作方式;对近代信息技术发展的影响也是巨大的,计算机科学与控制理论均从这项研究中受到了启发。由于

Pitts 的努力,使得这项研究结论没有仅仅停留在生物学的结果上,他为神经元的工作方式建立了数学模型,正是这个数学模型深刻地影响了机器学习的研究。

电子计算机的产生和发展,使得机器学习的实现成为可能。各种神经计算机的模拟被研制和检测,其中 Rosenblatt 的感知机最为著名,它由阈值性神经元组成,试图模拟人脑的感知及学习能力。遗憾的是,大多数希望产生某些复杂智能系统的企图都失败了。不过,这一阶段的研究导致了模式识别这门新学科的诞生,并且同时形成了机器学习的两种重要方法,即判别函数法和进化学习。著名的 Samuel 下棋程序就是使用判别函数法的典型代表。该程序具有一定的自学习、自组织、自适应能力,能够根据下棋时的实际情况决定走步策略,并且从经验中学习,不断地调整棋盘局势评估函数,在不断的对弈中提高自己的棋艺。4 年后,这个程序战胜了设计者本人。又过了 3 年,这个程序战胜了美国一个保持 8 年之久的常胜不败的冠军。不过,这种脱离知识的感知型学习系统具有很大的局限性。无论是神经模型、进化学习还是判别函数法,所取得的学习结果都是很有限的,它们远远不能满足人类对机器学习系统的期望。

在这一阶段,我国研制了数字识别学习机。

### 1.1.3 冷静时期

这一阶段是在 20 世纪 60 年代中叶到 20 世纪 70 年代中叶。这一阶段的主要研究目标是模拟人类的概念学习过程。机器的内部表示采用逻辑结构或图结构,机器采用符号来表示概念,又称符号概念获取,并提出关于所学概念的各种假设。

在此阶段,研究者意识到学习是复杂而困难的过程,因此人们不能期望学习系统可以从没有任何知识的环境中开始,学习到高深而有价值的概念。这种观点使得研究人员一方面深入探讨简单的学习问题,另一方面则把大量的领域专家知识加入到学习系统中。

这一阶段有代表性的工作有 P. H. Winston 的结构学习系统和 Hayes-Roth 等人的基于逻辑的归纳学习系统。1970 年, P. H. Winston 建立了一个从例子中进行概念学习的系统,它可以学会积木世界中一系列概念的结构描述。尽管这类学习系统取得了较大的成功,但是所学到的概念都是单一概念,并且大部分都处于理论研究和建立实验模型阶段。除此之外,神经网络学习机因理论缺陷未能达到预期效果而转入低潮。因此,那些曾经对机器学习的发展抱有极大希望的人们感到很失望。人们又称这个时期为机器学习的“黑暗时期”。

这一阶段正是我国的“文化大革命”时期,对机器学习的研究也不可能有实质性的进展。

### 1.1.4 复兴时期

这一阶段是在 20 世纪 70 年代中叶到 20 世纪 80 年代中叶。这一阶段的主要

研究目标仍然是模拟人类的概念学习过程,但是研究者已经从学习单个概念扩展到学习多个概念,探索不同的学习策略和各种学习方法。

机器的学习过程一般都是以大规模的知识库作为背景,实现知识强化学习。值得高兴的是,这一阶段研究者开始将学习系统与各种应用系统结合起来,并获得了极大的成功,在实际应用中发挥了重要作用。同时,专家系统在知识获取方面的需求,也极大地刺激了机器学习的研究和发展。在出现第一个专家学习系统之后,示例归纳学习系统成为研究的主流,自动知识获取成为机器学习应用的研究目标。

1980年,在美国的卡内基-梅隆召开了第一届机器学习国际研讨会,标志着机器学习研究已在全世界兴起。此后,机器学习开始得到了大量的应用。*Strategic Analysis and Information System* 国际杂志连续三期刊登有关机器学习的文章。1984年,由 Simon 等 20 多位人工智能专家共同撰文编写的 *Machine Learning* 文集第二卷出版,国际性杂志 *Machine Learning* 创刊,更加显示出机器学习突飞猛进的发展趋势。这一阶段代表性的工作有 D. J. Mostow 的指导式学习, Lenat 的数学概念发现程序 AM, Langley 的 BACON 程序及其改进程序,它们可以根据经验领域的原始数据发现一些基本的物理学定律和化学定律。其他比较著名的归纳学习方法有 Quinlan 的 ID3 算法, Michalski 的星算法及其概念聚类思想;在基于解释学习系统中,有 G. DeJong 的 Genesis 系统, T. M. Mitchell 的 LEX 系统和 S. Minton 的 Prodigy 系统等;在类比学习中, Winston, Carbonell 和 Gentner 等人也做了许多开拓性的工作。

这一阶段的研究特点主要有三点:

- 1) 基于知识的方法,即首先具备大量初始知识。
- 2) 开发出各种各样的学习方法,包括示教学习、观察和发现学习、类比学习以及解释学习等。
- 3) 结合生成和选择学习任务的能力,应用了启发式信息。

在这一阶段,我国的机器学习也开始有了新的起步。20 世纪 70 年代末,中国科学院自动化研究所进行质谱分析和模式文法推理研究,表明我国的机器学习研究得到了恢复。1980 年,Simon 来华传播机器学习的火种后,我国的机器学习研究出现了新的局面。

### 1.1.5 蓬勃发展时期

这一阶段是机器学习发展的最新阶段。它起始于 20 世纪 80 年代中叶。

这一阶段,一方面,神经网络的研究重新兴起。在此前的 10 多年中,虽然神经元模型研究落入低潮,但仍有一部分学者在潜心研究。在他们不懈地努力下,终于克服了神经元模型的局限性,提出了多层网络的学习算法,再加上 VLSI 技术、超导技术、生物技术、光学技术等的发展与支持,神经网络研究又在一个新的起点上再度兴起,从而使机器学习进入连接机制学习的阶段。目前对连接机制