

国家自然科学基金研究成果专著出版基金资助出版

综合集成化人工智能技术 及其矿业应用

张幼蒂 李新春 韩万林 张瑞新 著

中国矿业大学出版社

CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY PRESS

TD8-39
Z-915



国家自然科学基金研究成果专著出版基金资助出版

综合集成化人工智能技术及其矿业应用

张幼蒂 李新春 韩万林 张瑞新 著

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

综合集成化人工智能技术及其矿业应用/张幼蒂等著.
—徐州:中国矿业大学出版社,2004.6
ISBN 7-81070-826-0
I.综... II.张... III.①人工智能—应用—矿产—地质勘探 ②人工智能—应用—矿山开采 IV.①P624-39②TD8-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 074061 号

书 名 综合集成化人工智能技术及其矿业应用
著 者 张幼蒂 李新春 韩万林 张瑞新
责任编辑 李士峰
责任校对 杜锦芝
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
网 址 <http://www.cumtp.com> **E-mail**: cumtpvip@cumtp.com
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 江苏淮阴新华印刷厂
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 **印张** 12.25 **字数** 292 千字
版次印次 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷
印 数 1~1000 册
定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

内 容 提 要

人工智能是指从各方面模拟人类智慧而形成的范围广泛的计算方法。著者在人工智能技术应用研究方面先后获得3项国家自然科学基金资助。书中系统总结了十余年来著者在综合集成化人工智能技术及其在矿业系统中应用的研究工作,内容主要包括:人工智能技术的发展简史、主要分支及其在矿业中的应用,人工智能技术的发展趋向——综合集成化,矿区开发条件评价与开发次序决策智能系统,矿田资源预测与估算智能系统,矿井资源开采条件评价及生产指标预测智能系统,露天矿开采工艺选择智能系统,矿区可持续发展评价与决策智能系统等。

人工智能方法正在走向综合集成化,这已成为一种历史性的发展趋势。应用综合集成化的人工智能技术,来解决采矿工程复杂大系统课题,在理论和实践上具有重要意义。对于一般大系统工程中的模式识别、参数选择、系统优化及效果预测等方面,亦有通用性参考价值。

ABSTRAT

Artificial intelligence (AI) is a term for a wide range of computing methods that mimic various aspects of human intelligence. The authors have obtained the financial support by NSFC for three projects on study of artificial intelligence technique and its application. The decade research results about meta-synthetic artificial intelligence technique and its application in mineral engineering have been summarized in this book. The main contents of the book include: the brief development history, the main branches and the application of artificial intelligence technique, the developing tendency of artificial intelligence——meta-synthesis, mining area condition evaluation and exploitation sequence ranking system, mine field resource prediction and estimation system, underground mine resource condition evaluation and production indices prediction system, surface mining technology selection system, mining area sustainable development evaluation and decision support system, etc.

It has been a historical developing tendency for meta-synthesis of artificial intelligence technique. By use of meta-synthetic artificial intelligence technique, the complicated problems of large mining systems can be comprehensively solved, and obvious economic and social effects can be obtained. For general large systems engineering, the problems such as pattern recognition, parameters selection, system analysis and optimization, results prediction, etc. can also be solved by use of this technique.

前 言

人工智能(AI)是指从各方面模拟人类智慧而形成的范围广泛的计算方法。人工智能技术被誉为现代科学技术在应用领域的三大重要标志之一。这一新兴交叉学科在近 20 余年中得到了蓬勃的发展。人工智能方法正在走向综合集成化,这已成为一种历史性的发展趋势。

本书系国家自然科学基金资助项目研究成果。本书著者曾先后获得 3 项国家自然科学基金项目资助,即:

- (1) 应用神经网络技术研制矿区开发优化决策的智能系统(1995—1997);
- (2) 综合集成化的采矿工程智能仿真系统研究(1998—2000);
- (3) 基于综合集成化智能技术的矿业系统优化方法(2003—2004)。

此外,还获得 2 项高校博士学科点专项科研基金项目资助:

- (1) 露天开采优化决策专家系统的研究(1990—1992);
- (2) 基于遗传算法的智能化矿业决策支持系统研究(1997—1999)。

著者从事本书所涉及领域研究工作并形成本书的背景,一是面临矿业工程系统中出现的众多难题,亟待我们寻找有效的解决途径;二是受到人工智能技术的强烈吸引力,尤其是人工智能方法综合集成化的提出,更有其异乎寻常的时代魅力。

书中系统总结了十余年来著者在综合集成化人工智能技术及其在矿业工程系统中的应用研究工作成果。

本书编写分工如下:

- 第 1 章 张幼蒂 李新春
第 2 章 张幼蒂 韩万林
第 3 章 张瑞新
第 4 章 韩万林
第 5 章 韩万林
第 6 章 李新春
第 7 章 李新春
第 8 章 张幼蒂
统编定稿 张幼蒂

本书的出版得到国家自然科学基金研究成果专著出版基金的资助,特此致谢!

在本书的形成过程中,西安建筑科技大学云庆夏教授,东北大学王泳嘉教授,山东科技大学蒋国安教授,中国矿业大学王玉浚教授和才庆祥教授给予了大力支持与帮助,在此一并致谢!

著 者

2004 年 1 月

目 录

前言	1
第 1 章 绪论	1
1.1 人工智能及其发展	1
1.2 人工智能主要分支简介	2
1.3 人工智能技术在矿业工程中的应用	12
参考文献	14
第 2 章 人工智能技术的综合集成化	17
2.1 人工智能技术的发展趋向——综合集成化	17
2.2 人工神经网络专家系统	19
2.3 遗传神经网络	22
2.4 BP 神经网络的改进算法	26
2.5 遗传算法的改进	28
2.6 本章结语	31
参考文献	31
第 3 章 矿区开发条件评价与开发次序决策的智能化系统	33
3.1 矿区开发条件综合评价指标体系	33
3.2 基于专家评判的评价指标权重分析	39
3.3 矿区开发次序优化决策的专家系统	47
3.4 实例研究	65
3.5 本章结语	71
参考文献	72
第 4 章 矿田资源预测与估算智能系统	74
4.1 引言	74
4.2 基于遗传神经网络的断层推断研究	74
4.3 基于遗传神经网络的煤层厚度预测研究	83
4.4 基于人工智能方法的矿石品位估算研究	88
4.5 本章结语	94
参考文献	94

第 5 章 矿井资源开采条件综合评价与工作面产量预测智能系统	96
5.1 引言	96
5.2 矿井资源开采条件评价因素结构及其指标体系	96
5.3 基于神经网络专家系统的评价因素隶属函数的建立	105
5.4 基于遗传神经网络的评价因素权重确定	108
5.5 资源开采条件综合评价模型	117
5.6 基于综合集成化智能方法的综采工作面产量预测	118
5.7 本章结语	122
参考文献	122
第 6 章 矿山开采工艺与设备优化选择的综合智能系统	124
6.1 概述	124
6.2 选择可行开采工艺方案的专家系统	130
6.3 确定开采工艺评价因素权重的人工神经网络系统	138
6.4 开采工艺优化选择的模糊评判系统	151
6.5 矿山开采设备优化选择的遗传算法模型	157
6.6 本章结语	159
参考文献	160
第 7 章 矿区可持续发展评价与决策智能系统	163
7.1 矿区可持续发展意义	163
7.2 矿区可持续发展评价体系	164
7.3 利用人工神经网络评价矿区可持续发展	164
7.4 基于专家系统的矿区可持续发展措施选择系统	168
7.5 矿区环境工程评价系统研究	169
7.6 实例研究	177
7.7 本章结语	182
参考文献	183
第 8 章 研究结论与前景展望	186
8.1 主要研究结论	186
8.2 综合集成化人工智能方法前景展望	187
参考文献	188

第1章 绪 论

1.1 人工智能及其发展

人工智能(artificial intelligence,简称 AI),是指从各方面模拟人类智慧而形成的范围广泛的计算方法。人工智能与空间技术、原子能利用一起,被人们誉为现代科学技术在应用领域的三大重要标志。

1.1.1 人工智能概念

美国斯坦福大学人工智能研究中心的 Nissson 教授认为:“人工智能是关于知识的科学,是怎样表示知识以及怎样获得知识和使用知识的科学。”MIT 的 Winston 教授指出:“人工智能就是研究如何使用计算机去做过去人才能做的智能的工作。”这些定义反映了人工智能学科的基本思想和基本范围。在广义上,一般认为人工智能是用计算机模拟人类的智能行为,并开发相应的理论与技术。在狭义上,人工智能方法是指人工智能研究的一些核心内容,包括搜索技术、推理技术、知识表示、机器学习与人工智能语言等方面。

1.1.2 人工智能学科发展的简要回顾^[1,3,4,9]

(1) 19 世纪以来,数理逻辑、控制论、信息论、仿生学、计算机等学科的发展,为人工智能的诞生奠定了基础。尤其是英国数学家图灵(A. M. Turing)1936 年提出理想计算机模型——图灵机,创立了自动计算机理论,证明计算机可能以某种被理解为智能的方法工作。他被后人称为人工智能之父。

(2) 1956 年夏季,美国学者 J. McCarthy、M. L. Minsky 等 4 人发起,在 Dartmouth 大学举办了一次长达 2 个月的研讨会,讨论用机器模拟人类智能问题。会上首次使用了人工智能这一术语,标志着人工智能学科的诞生。此后,相继出现了一批研究成果,形成了人工智能研究的第一个高涨期,但由于其尚处于幼年时代,暴露出来的一些问题难于立即解决,遂使人工智能研究一度陷入低谷。

(3) 20 世纪 60 年代专家系统出现,使人工智能研究掀起新高潮。E. A. Feigenbaum 等人率先合作研制用于有机化学分析的 DENDRAL 专家系统,于 1968 年获得成功。此后,专家系统开发如雨后春笋,显示出强大的生命力,并成为人工智能研究走向实用化的标志。1977 年,Feigenbaum 提出知识工程概念,认为知识工程是人工智能的原理和方法。20 世纪 80 年代,专家系统得到广泛应用,出现了专家系统开发工具。1982 年日本开始实行第五代计算机研制计划,对人工智能的发展亦有所推动。

(4) 人工神经网络研究开辟了人工智能方法的一条新的发展途径。早在 1943 年,McCulloch 和 Pitts 就提出了神经网络数学模型,此后研究工作几度起落。1982 年 Hopfield 模型出现、1985 年 Rumelhart 等人提出 BP 反向传播模型,导向神经网络研究迅速发展。1988 年被日本称为神经计算机之年,并提出研制第六代计算机计划。

(5) 20 世纪 90 年代进化算法崛起。20 世纪 60 年代就有人开始遗传算法研究,1975 年 J. H. Holland 出版了专著《自然与人工系统中的适应性行为》,提出了遗传算法的基本理论

和方法。1989年J. R. Koza提出了遗传规划。加之同时发展起来的进化策略与进化规划,形成了一种新颖的模拟生物自然进化的计算方法,统称为进化算法。20世纪90年代进化算法风靡全球,被许多领域广泛采用,形成了人工智能学科的一个新的强力分支,使人工智能研究得以持续高涨。

1.1.3 人工智能的研究途径和主要学派^(1,4)

按照研究途径的不同,人工智能研究可划分为如下3种学派:

① 符号主义——又称逻辑主义,是传统的人工智能研究途径,它以物理符号系统假设为基础。

② 连接主义——又称仿生学派,它主要研究人脑模型,其原理主要是神经网络及其连接机制和学习算法。

③ 行为主义——又称进化主义,它起源于控制论,主要研究关于行为的人工智能和感知—动作型控制系统。

目前,已经出现不同研究途径的相互结合、取长补短的发展趋势。

1.2 人工智能主要分支简介

基于人工智能内涵,许多方法都可以归入其范畴。目前人工智能主要分支如下:

① 专家系统 (Expert System, 简称 ES);

② 人工神经网络 (Artificial Neural Network, 简称 ANN);

③ 进化算法 (Evolutionary Algorithms, 简称 EA);

④ 其他方法,如案例推理 (Case-based Reasoning)、智能模拟 (Intelligent Simulation) 等。

1.2.1 专家系统

专家系统 (Expert System, 简称 ES) 作为人工智能应用的一个非常重要领域,使人工智能研究从实验室走向现实世界。它是一种对某一领域的复杂问题给出人类专家水平决策方案的智能软件系统。专家系统基本结构一般包括知识库、数据库、推理机、知识获取、解释功能和人机接口等6个部分。

20世纪70年代以来许多专家系统陆续研究成功,其类型可大致归结为如下几类^(10,11):

解释型——用于解释分析各种实验或勘探结果,如地质勘探 PROSPECTOR 系统、化学分析 DENDRAL 系统;

诊断型——用于诊断疾病或故障,如医疗诊断 MYCIN 系统、DART 系统等;

设计型——用于进行某些设计或规则拟定,如计算机设计 XCON/R 系统、MOLGEN 系统等;

教学型——用于计算机辅助教学,如 GUIDON 和 NEOMYCIN 系统等;

咨询型——用于某些领域的咨询或顾问,如 SACON 和 ONCOCIN 系统等;

工具型——用于开发专家系统,如 EMYCIN 和 EXPERT 系统等。

专家系统的特点大致如下:

① 专家系统所要解决的是复杂而专门的问题。对这些问题人们尚缺乏精确的描述和严格的分析,因此还没有确定的算法解决问题。解决这些问题需要专家的知识,包括理论知识和实际经验。

② 专家系统突出知识价值。通常,推广和应用专家知识要通过培训方法,需要花费很长时间。专家系统则可大大减少知识传授时间,使专家知识能很快得到应用。

③ 专家系统采用的是人工智能原理和技术,如符号表示、符号推理、启发式搜索等,这是与一般数据处理系统不同之处。

1.2.1.1 专家系统的建造过程

专家系统主要由知识库和推理机构成。知识库用于存放专家知识,推理机根据知识库中的知识进行推理、做出决策。因此建立专家系统的关键就是建造知识库和推理机。

(1) 建立知识库

建立知识库包括获取领域知识和将领域知识表达为计算机程序语言。从领域专家和相关资料获取专业知识是获取领域知识问题,而将领域专业知识转化为专家系统程序语言则是知识表达的程式化问题。

① 领域知识获取

所谓领域知识获取,是指把领域知识从各种知识源中提炼出来。这里所说的知识源包括领域专家和领域相关的各种专业书本。领域知识获取是专家系统建造最困难的阶段,通常成为建造专家系统的“瓶颈”问题。领域知识获取是一个交互过程,往往需要不断地重复进行,因而知识的获取需要花费相当长时间。

领域知识获取通常分为以下四个阶段:

- 明确系统的作用和问题的性质,建立问题求解模型。
- 确定知识的表现形式,建立问题求解的基本框架。
- 实现知识库,建立原型专家系统。
- 测试和精炼知识库。

② 领域知识程式化

知识库的设计就是将领域知识程式化,也就是将领域知识转化为计算机可以处理的表达形式。领域知识的程式化主要包括如下几个方面:

基本概念程式化——在知识库中通过回答问题形式将领域概念转化为结构化,使其具有模块性知识表现形式。概念转化往往需要进行很多假设,通过假设将概念内涵表示出来。同时,还要通过假设将概念与概念之间的联系表现出来。

问题程式化——将专家系统所要解决的问题程式化,它在知识库中往往通过规则表达方式进行转化。

数据程式化——在知识获取中往往得到很多有关数据,这些数据在知识库中往往通过假设直接解释,这有助于了解数据的来源和数据的作用。

领域知识经过程序化以后,就建立起了专家系统的知识库。由于目前专家系统的开发工具很多,为了减少编程时间,设计人员往往采用现成的专家系统开发工具,因而在知识转化中要充分考虑到所选用的专家系统工具,使知识表达与工具要求尽量一致,以避免繁杂的转化过程。

(2) 推理机设计

推理机设计,是根据知识的表达设计出合理的推理方法和推理控制策略,以便进一步设计出具有求解专门问题的,具有解释、推理功能的计算机软件系统。推理机设计应考虑以下几个问题。

① 推理方向选择

常用的推理方向有：

· 正向推理——正向推理在控制中也称为数据驱动控制。其特点是用户可以主动提供数据信息，它适用于解“空间”大问题，如设计、管理等。

· 反向推理——反向推理在控制中也称为目标驱动控制。其特点是推理目标明确，便于推理过程解释。

· 混合推理——混合推理在控制中也称为混合控制，即数据驱动与目标驱动相结合。数据驱动用来选择目标，目标驱动用来进行求解。

② 推理方法的选择和结合

推理方法选择与知识表达方法有关，表达方法的结合直接影响推理方法的结合，常用的推理方法有以下两类。

· 从逻辑基础上分类：

演绎推理——由前提直接导出某个结论，其核心是三段论法。

归纳推理——以某命题为前提推论出与其有归纳关系的其他命题。

外展推理——表示由因到果的解释论证过程，能反映事物的本质。

非单调推理——是指在推理过程中，在增加某些新的事物时，能够取消以前得到的一些结论。

不精确推理——也称为近视推理，是指事实或知识存在不确定性时的推理。

· 从算法上分类：

基于规则的推理——以产生式规则表示知识的推理。

基于模型的推理——强调采用反映事物内部规律的客观世界模型推理。

基于事例的推理——将过去成功的事例存入事例库，遇到新问题时利用类比推理方法，在事例库中寻找类似事例，从而得到新问题的近似解答。

③ 推理效果和推理效率

推理效果，主要是指推理机的正确性和有效性，对要解决的问题能求得解答，能正确利用和选取知识库中的知识，能正确进行推理和控制，以避免出现计算机程序中的“死循环”。

推理效率，是指推理速度和求解问题的时间。为了提高效率，要充分利用启发信息，避免出现重复推理，降低推理的时间消耗，实现最经济合理的推理。

(3) 专家系统的接口设计

专家系统的人机接口具有双重任务：

① 用户和专家系统的接口

用户和专家系统的接口，也称为咨询解释部分，它主要完成以下任务：

· 咨询理解——本部分要求接口能理解用户给出的咨询或提问的信息。

· 结论解释——本部分要求接口不但能输出正确结果，而且能对输出结果加以解释并给出结果的可信度。

② 设计人员和专家系统的接口

设计人员和专家系统的接口，实际上反映专家系统的可编性，也就是专家系统能否被设计人员比较简单地进行修改。其主要功能有：

· 修改知识库——知识不断积累和日新月异，为了不断完善专家系统，需要对知识库经

常进行修改,这就要求知识库具有可编性,以便进行更新和扩充。

· 查询功能——所谓查询功能,就是设计人员能方便地进行系统查询,了解系统的运行情况和计算机库存情况。

1.2.1.2 专家系统的实现过程

专家系统的实现用算法来描述,主要包括如下几方面:

- ① 建造专家系统原型。
- ② 测试、修改专家系统:通过测试,如果专家系统不符合设计要求,就要对本部分反复进行。
- ③ 扩充知识库维护模块,增加检验和学习等功能;增添辅助模块,扩充各种人机接口。
- ④ 扩展知识库:对知识库不断进行完善、充实和更新。
- ⑤ 检测知识库:应用一些实例对知识库进行检测,评估知识库的可行性。
- ⑥ 扩充辅助模块:在专家系统的实际应用过程中扩充一些辅助模块,使专家系统在外观和内涵上更加完美。

1.2.1.3 专家系统开发工具的选择

(1) 常用开发工具介绍

目前,国内外已开发出相当数量的专家系统开发工具。国外常用的开发工具和国内常用的开发工具详见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 国外主要专家系统开发工具

类型	工具名称	用途	知识表示	硬 件	开 发 者
程序设计语言	INTERLISP-5	通用	面向过程	Xerox 1100	Xerox 公司
	LISP	通用	面向过程	Lambda	LISP Machine Inc
	PROLOG	通用	面向过程	DEC 10 System	Quintus Inc
	SMALLTALK-80	通用	面向对象	Tektronix 4404	Xerox 公司
	ZETALISP	通用	面向过程	Symbolics 3600	Symbolic Inc
系统构造辅助工具	EXPERTEASE	知识获取	从实例推导出判定树	IBM-PC Victor 9000	Export Software
	PLUME	自然语言接口开发	建造接口的软件工具	Symbolic3600 VAX-11	Carnegie Croup Inc
	PLUME-MASTER	知识获取	从例子推导出判定树	VAX-11 Apollo	Radian Corporation
	TIMM	知识获取	从例子推导规则	VAX11/780 Prime400	Corporation
知识工程语言	DUCK	通用	基于逻辑 基于规则	Symbolic3600 DEC VAX	Smart System Technology
	KEE	通用	基于规则 基于框架	Xerox 1100 Symbolic3600	Intellicorp
	KES	通用	基于规则 基于框架	DEC VAX, UNIX, VMS	Software Architecture And Engineering Inc
	M. 1	通用	基于规则	IBM PC	Teknowledge
	OPS5	通用	基于规则	VAX-11	Digital Equipment Corporation
	SERIS	诊断	基于规则	IBM PC	SRI-International
	SRL ⁺	通用	基于框架	Symbolic3600 VAX-11	Carnegie Group, Inc
S. 1	通用	基于规则 基于框架	Xerox 1100 Xerox 1108	Teknowledge	

表 1-2

国内部分专家系统开发工具

工具名	类型	特点	研制者	研制时间
PCEST	通用型	规则—框架面向过程,正反向推理	中国武汉大学计算机科学系人工智能研究室	1989年
ESTOOL	通用型	知识表示采用规则—框架体系,由知识库、数据库及图文库构成	中国武汉大学工程结构抗震研究所	1990年
“天马”	通用型,集成式	规则、框架、过程、元规则多种形式推理机、菜单结构	中科院数学研究所,浙江大学,武汉大学,电子工业部15所	1990年
OEC	通用型	规则—框架	北方交通大学计算机系	1991年

(2) 专家系统开发工具选择

专家系统开发工具的选取是一项重要而又困难的任务。它之所以重要,是因为一个专家系统的开发工具的实现往往需要花费很多人力和很长时间,因而建造专家系统时往往采用现成的开发工具。如何选择合理的专家系统开发工具是专家系统的关键,是十分重要的一步。另外现成的专家系统开发工具往往是为处理某一特定问题而开发的,其通用性很差,因而选择合理的专家系统开发工具是很困难的。

鉴于以上原因,专家系统开发工具选择时必须考虑如下几方面问题:

- 工具能提供开发者所需的能力和先进技术吗?
- 工具能提供合适的支撑吗?
- 工具的可靠度如何?
- 工具的维护性如何?
- 工具适合问题的特点吗?
- 工具适合应用的特点吗?

1.2.2 人工神经网络

人工神经网络(Artificial Neural Network, 简称 ANN)是由大量的也是很简单的处理单元广泛连接而形成的网络系统。其研究最早开始于1943年,McCulloch 和 Pitts 提出了神经元网络数学模型。该模型反映人脑功能的许多基本特征,是一个并行处理的非线性系统,但它并非人脑神经系统的真实写照,而只是对人脑行为作某些简化、抽象和模拟。

人工神经网络就其结构而言,一般包括输入层、隐含层和输出层,不同的神经网络可以有不同隐含层数,但它们都只有一层输入和一层输出。神经网络的各层又由不同数目的神经元组成,各层神经元数目随解决问题的不同而有所不同。一般而言,输入神经元数目就是问题的决策因素数目,输出神经元数目是问题的评价因素数目,隐含神经元数目可以随机选择,但也不能太多或太少,太多网络将难以收敛,太少网络又达不到优化效果。

人工神经网络就其行为而言,主要是对专家的思维进行模拟,利用它的良好自学习、联想、非线性动态处理、自适应等方法,从积累的工程事例中获取知识,形成实用的网络模型。人工神经网络目前在模式识别和数据获取上应用效果很好,它主要是利用了神经网络的高度容错性这一特征。

1.2.2.1 常见的神经网络模型及其特点

模型研究是人工神经网络研究的主要方面之一。到目前为止,人们至少已设计出几十种不同的神经网络模型。从结构性能和应用场合来看,它们彼此之间差别虽然很大,但也并非

无规律可循。根据不同分类方法常用神经网络有如下几种^[50]：

- 按照网络的性能分：有连续型和离散型网络，又可分为确定型和随机型网络。
- 按照网络结构分：有反馈网络和前馈网络。
- 按照学习方式分：有导师学习和无导师学习。
- 按照连续突触性质分：有一阶线性关联网和高阶非线性关联网。

按照对生物神经系统的不同组织层次和抽象层次的模拟，神经网络模型又可分为如下五类：

① 神经元层次模型——重点研究单个神经元的动态特性和自适应特性，探索神经元对输入信息有选择地响应和某些基本存储机理。

② 组合式模型——由数种相互补充、相互协作的神经元组成，用于完成模式识别和机器人控制等任务。

③ 网络层次模型——它是由许多相同的神经元相互连接而形成的网络，从整体上研究网络的集体特性，例如 Hopfield 模型。

④ 神经系统层次模型——一般由多个不同性质的神经网络构成，用于模拟生物神经系统的复杂性，如自动识别、概念形成、全局稳定控制等。

⑤ 智能化模型——这是最抽象的层次，常以语言形式模拟人脑信息处理的运行过程、算法和策略。它试图模拟诸如感知、思维、问题求解等基本过程，与人工智能密切相关。

人工神经网络是基于人类大脑的结构和功能而建立的新学科，它的许多特点和人类的智能类似。正是由于这些特点，使得人工神经网络不同于一般的计算机应用。人工神经网络的基本特性如下：

- 神经计算与并行处理；
- 容错性；
- 自适应性；
- 知识的分布存储。

1.2.2.2 神经网络常用的学习算法

神经网络具有一定的智慧，突出地表现在它能够进行学习上。神经网络的学习过程主要是按一定方式调节单元之间的连接，使网络具有所要求的功能。至今已提出若干学习方式和学习规则，归纳起来可分为^[50]：

- 按有无导师分：有导师学习和无导师学习。
- 按导师信号的取值情况，将有导师学习分为二分割学习和输出值学习。
- 按导师信号是否固定，将有导师学习分为固定式学习和示例学习。

目前比较成熟的具体学习算法或学习规则有：

① Hebb 学习法——Hebb 学习规则是当两个神经元同时处于兴奋状态时，它们之间的连接强度加强。

② Delta 学习规则——Delta 学习规则主要要点是先求出所希望的目标激励值与学习过程中所得到的输出激励值之差，再利用比差值去调整连接强度使其差趋于最小。

③ 竞争学习算法——它是一种非常重要的非联想统计学习算法方案。它在同一个群集合的单元彼此竞争中对出现在下一层的模式作出响应。

④ 相互激励学习规则——相互激励模型是作为一种能解释单词这一基本事实而提出

的模型。它由神经元通过激励检测器而加强其识别能力。

⑤ 自适应共振法——是在 1976 年提出的自适应共振理论基础上发展而来的。它是一种无导师学习算法,网络的一切调节均自动进行调整。

1.2.2.3 BP 网络简介

BP 网络,是在 Rumelhart 等人 1985 年提出的反向传播算法(Back Propagation,简称 BP)的基础上发展起来的。它是一种多层次前馈网络,使用的是有导师学习算法。网络结构如图 1-1 所示。

BP 网络不仅有输入层节点、输出层节点,而且有隐层节点。对于输入信号,要首先向前传播到隐节点,经过作用函数后再把隐节点的输出信息传播到输出节点,最后得出输出结果。该算法的学习过程由正向传播和反向传播组成。在正向传播中,输入信息从输入层经隐单元层逐层处理并传向输出层,每层神经元的状态只影响下一层神经元状态。如果在输出层不能得到期望的输出,则转入反向传播,将误差信号沿原来的连接通路返回,通过修改各层神经元的权值而使误差信号最小。

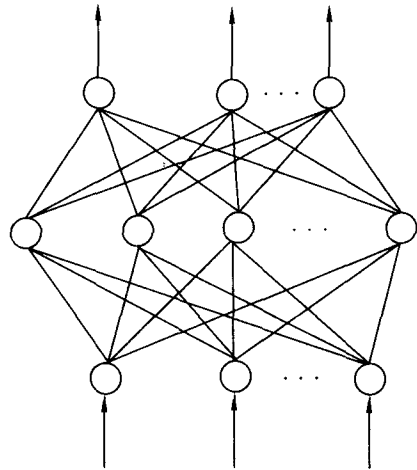


图 1-1 BP 网络模型

BP 学习算法如下:

① 初始化——置所有权为随机任意小。

② 提供训练集——训练集就是训练样本,也就是提供连续的输入向量 X_0, \dots, X_{n-1} 和所期望的输出 t_0, \dots, t_{m-1} 。这里, n 为输入单元数, m 为输出单元数。

③ 计算实际输出——使用阈值函数 $f(x) = 1/(1 + e^{-x})$ 和公式 $Y_i = f(\sum W_{ij}X_i - \theta_j)$ 逐级计算输出值。令最后输出值为 O_0, \dots, O_{m-1} 。这里, W_{ij} 为不同神经元之间的权值, θ_j 为神经元的阈值。

④ 调整权值——根据输出误差,用递归方法从输出结点开始反向调节各层中神经元之间的权值。调节公式如下:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta \delta_j O_i$$

其中, $w_{ij}(t+1)$ 是 t 时刻神经元 i 和神经元 j 之间的权值; O_i 是输出结点 i 的输出值; η 为大于零的增益; δ_j 为结点 j 的误差,如果 j 是输出结点,则 $\delta_j = O_j(1 - O_j)(t_j - O_j)$,其中 t_j 是结点 j 的期望输出; O_j 是结点 j 的实际输出,如果 j 是内部结点,则 $\delta_j = h_j(1 - h_j) \sum \delta_k w_{jk}$,其中 k 是高于结点 j 的层次上的所有结点。 h_j 是非输出结点 j 的输出。

⑤ 返回重新训练并重复,直到误差满足要求。

BP 算法从本质上讲是把一组样本的输入输出问题变为一个非线性优化问题。它使用了优化技术中最普通的一种梯度下降算法。用迭代运算求解权值相应于学习记忆问题。

1.2.2.4 神经网络的建造过程

一般神经网络建造过程如下^[13,18~21]:

根据问题求解的要求确定网络的输入单元和输出单元数目。输入单元数一般是问题的

决策要素数目,输出单元数是问题的求解要素数目。

① 确定网络的隐含层数——网络的隐含层数虽是任意的,但当隐含层数少时达不到问题求解的精确度,反之隐含层数过多又会使网络收敛很慢甚至网络不收敛。通常,问题的求解要素不太多时只取一个隐含层,也就是网络是三层的。

② 确定隐含层的神经元数目——一般隐含层的神经元数目,大于输入神经元和输出神经元数目之和的一半,小于输入神经元和输出神经元数目之和。

③ 确定样本——在这一步,主要是将样本整理、归纳、合并,使选出的样本具有广泛的代表性。

④ 初始化样本——由于神经网络要求网络的输入必须介于 $[0,1]$ 之间,这就要求一方面将定性描述的输入要素数字化,另一方面将定量描述的要素经过数据归一化处理,使其取值介于 $[0,1]$ 之间。

⑤ 网络的训练和学习——本步是将经过处理后的样本代入网络,对网络进行训练和学习,使网络达到稳定状态。

⑥ 网络的测试——这一步主要是测试网络的可行性。

网络建造成功以后,还要经常用特例来测试网络,这主要是通过网络的自学习过程不断地完善网络,使网络具有较强的功能,使网络解决问题的范围扩大。

1.2.3 遗传算法——进化算法

自20世纪70年代美国密执安大学教授John Holland提出遗传算法(Genetic Algorithm,简称GA)概念体系以来,即受到各领域学者高度关注。遗传算法仿效生物的进化与遗传,根据“生存竞争”和“优胜劣汰”原则,借助复制、交换、突变等操作,使所要解决的问题一步步地逼近最优解。与其他优化方法相比,遗传算法以单一字符串形式描述所研究的问题,只需利用适应度函数值来进行优化计算;另一特点是,遗传算法不是逐点搜索,而是在课题研究领域的广泛空间上搜索多点组成的大面积母体,从而提高搜索效率,并迅速收敛寻优。它特别适合解决其他技术无法解决或难以解决的复杂问题,如结构优化、非线性优化、机器学习等,是继专家系统、人工神经网络之后又一受人青睐的人工智能新学科分支。^[22,23]

遗传算法的基本要点如下。

1.2.3.1 编码

遗传算法的工作对象是字符串,变量与个体间的映射通过编码来实现。编码方法要求有三:一是字符串要反映研究问题的性质;二是字符串的表达应便于计算机处理;三是应遵循字符串长度最短、模式阶次最高、模式数目最大等原则。假设有两种编码方法,一种是二进制编码,另一种是 k 进制编码。从理论上可以证明,当 $k>2$ 时用二进制编码来描述个体比用 k 进制编码能反映更多数目的基因模式。因此,遗传算法中常用二进制编码。

1.2.3.2 计算适应度

适应度是衡量个体优劣的标志,它是执行遗传算法“优胜劣汰”的依据。因此,适应度也是驱使遗传算法向前发展的动力。从生物学角度讲,适应度相当于“生存竞争,适者生存”的生物生存能力,在遗传过程中具有重要意义。将优化问题的目标函数与个体适应度建立映射关系,即可在群体进化过程中实现对优化问题目标函数的寻优。将目标函数转换成适应度函数一般应遵循两个原则:一是适应度必须非负,二是优化过程中目标函数的变化方向应与群体进化过程中适应度函数变化方向一致。

1.2.3.3 群体初始化

群体初始化,是指产生第一代一定数量个体。一般可先将优化问题的初始解转化为个体,第一代群体中的其余个体随机产生。研究表明,群体的初始化影响遗传过程的收敛速度。如果初始群体选择恰当,收敛速度就比较快,否则,收敛速度就比较慢甚至很难求得最优解。群体规模 N 一般大于 50,而且初始群体中应包含尽可能多的模式。

1.2.3.4 遗传算子

群体初始化以后,后代群体的繁殖一般通过复制、交换、突变等遗传算子操作来进行。

① 复制(reproduction)——复制是遗传算法的基本算子,它是将优良的个体在下一代新群体中繁殖,体现“适者生存”自然选择原则。个体是否被复制的依据是其适应度的大小,适应度大者被复制、小者被淘汰,使新群体中的个体总数和原来群体相同。通过复制,使得群体中的优秀个体数目不断增加,整个进化过程朝着更优解方向进行,从而反映“优胜劣汰”原则。每代群体中,被复制的个体数目由复制概率 P_r 控制, P_r 常取 0.1~0.2。

② 交换(crossover)——在遗传算法中,交换是产生新个体的主要手段,它类似于生物学中的杂交,使不同个体的基因互相交换,从而产生新个体。复制,虽然可以使可行解群体朝着最优解方向移动,但只能在现有群体内寻优,它不能产生与亲代不同的个体。在遗传算法中引入交换算子,每一代的各个个体之间按一定概率交换其部分基因,产生新的基因组合,使各个解有机会交流其优秀基因,可望获得比亲代更好的解的结构。执行交换的个体是随机选择的。首先,要确定交换的概率 P_c ,大致为 0.5~0.8 左右。然后,采用轮盘选择等方法,按适应度大小选择被交换的个体,依次两两进行交换。交换点的选择也是随机的。

③ 突变(mutation)——复制和交换只能在现有基因型的排列组合内寻找最优,而不能产生新的基因型。突变是遗传算法中产生新个体的另一种方法,它是将某一个体的某一位字符进行补运算,使 0 变为 1,或将 1 变为 0,产生新的基因型,从而扩大寻优范围。突变个体的选择及突变位置的确定,均采用随机方法产生。首先,确定突变概率 P_m , P_m 通常较小,约为 0.001~0.01。然后,针对每个字符在 $[0,1]$ 之间产生一位有效数的均匀分布随机数。若 $P_m = 0.008$,凡是随机数小于 0.008 所对应的字符,均将实行突变。

1.2.3.5 终止条件

遗传算法是一种反复迭代的搜索方法,它通过多次进化逐渐逼近最优解而不是恰好等于最优解,因此需要确定其终止条件。使遗传算法终止的方法有三种:

① 规定最大迭代次数 N 。一旦遗传算法的迭代次数达到 N ,则停止操作、输出结果。通常 N 取 200~500 次。

② 规定最小的偏差 δ 。对于适应度目标已知的遗传算法,如用方差一类有最优目标值的问题时,可用最小的偏差 δ 制定终止条件,即 $|f_{\max} - f^*| \leq \delta$,式中 f^* 为已知的适应度目标, f_{\max} 为每代最大的适应度。

③ 观察适应度的变化趋势。在遗传算法初期,最优个体的适应度和群体的平均适应度都较小,以后随着复制、交换、突变等操作适应度值增加。到了遗传算法后期,这种增加已趋缓和或停止,一旦这种增加停止,即终止遗传算法。

图 1-2 是用来说明用遗传算法进行群体优化的过程的一个例子。系统中共有 5 个个体串(相当于生物的染色体),每个个体串由 5 个方块组成,方块有 4 种颜色,分别赋予价值 0, 1, 6, 10, 依此可算出每个个体串的总价值,即适应度值。开始时可随机设定一个初始群体,赋