

# 人工神经网络导论

Introduction to  
Artificial Neural Networks

张青贵 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

# 人工神经网络导论

张青贵 编著

中国水利水电出版社

## 内 容 提 要

本书较系统地介绍了人工神经网络的基本理论和方法。全书共 10 章, 可分为四大部分: 第一部分包括第一章至第二章, 叙述了学习人工神经网络应该具备的基础知识, 内容有大脑神经系统的构成、脑神经细胞工作概况、人工神经网络的构思、动力系统稳定性以及混沌; 第二部分包括第三章至第五章, 论述了人工神经网络的三要素, 即人工神经元模型、人工神经元的联接方式、人工神经网络的训练与学习; 第三部分包括第六章至第九章, 着重讨论了四大类网络, 即前馈网络、动态网络、竞争网络及模糊网络, 每一大类中包含若干具体网络模型; 第四部分为第十章, 讨论了统计学习理论, 支撑向量机作为其特例。

本书在强调基础理论和系统性的同时, 着重反映人工神经网络研究领域的最新研究成果, 适于作为高等院校自动控制、电子技术、信息技术、计算机、系统工程等专业的研究生教材, 亦可供有关科技人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

人工神经网络导论 / 张青贵编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2004  
ISBN 7-5084-2383-6

I. 人… II. 张… III. 人工神经元网络 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 097739 号

书 名	人工神经网络导论
作 者	张青贵 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a> E-mail: <a href="mailto:mchannel@263.net">mchannel@263.net</a> (万水) <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a> 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 15.75 印张 352 千字
版 次	2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	26.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换  
版权所有·侵权必究

# 前 言

国内已经有一些关于人工神经网络的专著和教材，但由于该学科是一门迅速发展新兴学科，科研与教学两方面的积累还不够，所以，要找一本既循序渐进、适合初学者，又有相当深度、能反映国际前沿动态的书，还是十分困难的。有鉴于此，作者在多年教学的基础上，吸收国内外最新研究成果，并结合自己的研究和教学实践编写成本书，希望它能够对从事该学科学习与研究的人有所帮助。

作者从事人工神经网络教学与研究多年，深知该学科研究与教学的艰难。究其原因，不外乎两方面：一方面是由于人工神经网络是一门涉及面宽、综合性强的学科，涉及到数学、计算机、思维科学、神经生理学、心理学、模式识别、混沌动力学等众多学科；另一方面是由于它还处于迅速发展之中，新思想、新理论、新方法不断涌现，每月都有大批研究成果发表，不断充实着它的内容，尚未形成完整、成熟的理论体系。鉴于这种情况，本书在材料取舍、内容组织和叙述行文等方面力求做到：

**系统性：**系统地介绍人工神经网络的基本思想、理论和方法。

**新颖性：**适当介绍国内外的最新研究成果，使读者能掌握当前提出的新理论、新方法，跟踪各研究领域的发展动态。

**实用性：**在理论探讨的同时，注意理论的应用，尤其对模式识别方面的应用给予了足够的重视。作为硕士研究生教材使用时，要求学生重要网络能用 MATLAB 语言模拟实现。经验表明，这种办法能使学生迅速而牢固地掌握本学科的基本内容。

**层次性：**为了适应不同要求读者的需要，本书内容分成三级。凡目录中不打星号的章节为第一级，属于本学科最基本、也是必须掌握的内容，适合于初学者。考虑到各学校研究生课程教学学时有限，控制这部分内容在 40 学时可以授完。凡目录中打单星号的章节为第二级，适合于以神经网络应用为目的的读者。凡目录中打双星号的章节为第三级，适合于以神经网络理论研究为目的的读者。

**可读性：**由于神经网络涉及面甚宽，学习起来有一定难度，本书首先对有关预备性知识进行了简要介绍，作为后继学习内容必不可少的铺垫；在内容安排上努力做到由浅入深、前后呼应；在文字表达上力求通俗易懂，对抽象概念与原理，只要有可能，尽量用实例给以说明。

本书可作为硕士研究生人工神经网络的教科书，也可作为对神经网络感兴趣的科技人员的参考书。

全书共分 10 章。第 1 章是引论，从智能与思维科学、人工智能的角度，对神经网络进行了概述。第 2 章是学习神经网络应该具备的一些基础知识，包括脑神经系统的构成、脑神经细胞工作概况、人工神经网络的构思、动力系统稳定性以及混沌理论。第 3

章~第 5 章介绍神经网络的最基本知识。其中第 3 章为神经元模型,包括神经元的通用功能模型、简单线性神经元、位势神经元、逻辑神经元、势态神经元以及其他神经元模型。第 4 章介绍网络中人工神经元的联接方式,包括分层神经网络的一般结构和联接矩阵图、神经元网络的多层组织。第 5 章介绍人工神经网络的训练与学习,包括乘积学习规则、关联学习、线性元网络的差值规则训练法、准线性元网的差值规则以及随机训练。第 6 章~第 9 章叙述四大类网络。第 6 章为前馈网络,包括感知器、多层感知器和径向基函数网络前馈网络与其他模式分类器。第 7 章为动态网络,包括延时网络、双向联想存储网络、Hopfield 网、递归网络以及 Boltzmann 机。第 8 章叙述竞争网络,包括汉明网、自组织特征映射、自适应谐振网 (ART1) 以及自适应谐振网 (ART2)。第 9 章叙述模糊网络,包括模糊自适应谐振网 (Fuzzy ART)、模糊极小—极大网、一般模糊极小—极大 (GFMM) 网络、模糊神经网络 (FLNN) 和递归自组织模糊推理网络 (RSONFIN)。第 10 章叙述了人工神经网络的统计学习理论,包括学习过程一致性理论、学习过程收敛率的界限、控制学习机泛化性能的理论、构造性学习算法的理论、结论。

2000 级硕士研究生马建国、2001 级研究生陈志刚为本书绘制和处理了大部分图形图像,宋胜峰、段力同志为书稿格式进行了认真的整理,刘艺、尹迪同志为本书的出版进行了大量的工作,在此表示衷心感谢。

限于作者水平,书中漏误之处恐不在少数,诚请读者批评指正。

作者

2004 年 8 月

# 目 录

前言

1 引论	1
1.1 智能与思维科学	1
1.1.1 智能	1
1.1.2 思维科学	2
1.1.3 思维的类型	3
1.2 人工智能	4
1.2.1 人工智能的概念	4
1.2.2 人工智能的发展简史	5
1.2.3 人工智能的研究目标	6
1.2.4 人工智能研究的基本内容	6
1.2.5 人工智能的研究途径	7
1.2.6 人工智能的研究领域	9
1.3 人工神经网络概述	11
1.3.1 人工神经网络研究简史	11
1.3.2 人工神经网络研究基本内容	13
1.3.3 人工神经网络分类	14
2 基础知识	15
2.1 人脑神经系统的构成	15
2.1.1 小脑	17
2.1.2 间脑	18
2.1.3 脑干	19
2.1.4 大脑	20
2.2 人脑神经细胞工作概况	29
2.2.1 神经细胞的基本结构	30
2.2.2 信号在轴突内的传递	33
2.3 人工神经网络的构思	34
*2.4 系统的稳定性	36
2.4.1 动力系统	36
2.4.2 自治系统与非自治系统	37
2.4.3 奇点与常点、稳定性	37
2.4.4 奇点的稳定与渐近稳定	38

2.4.5	极限环的稳定性	38
2.4.6	一般运动稳定性概念 (Lyapunov 稳定性)	38
2.4.7	稳定性的定性理论	39
2.4.8	系统轨道稳定性	39
2.4.9	结构稳定性	40
2.4.10	稳定性在神经网络设计中的重要性	42
**2.5	混沌与神经网络	42
2.5.1	动力学系统	42
2.5.2	稳态行为与极限集	43
2.5.3	庞加莱映射	51
2.5.4	极限集的稳定性	55
2.5.5	维数	61
<b>3</b>	<b>神经元模型</b>	<b>67</b>
3.1	神经元的通用功能模型	67
3.1.1	输入区	67
3.1.2	处理区	68
3.1.3	输出区	69
3.2	简单线性神经元	70
3.3	位势神经元	71
3.4	逻辑神经元	73
3.4.1	功能函数用逻辑函数表示	73
3.4.2	功能函数用表格形式表示	73
3.4.3	逻辑函数拓广到连续变量	74
3.5	势态神经元	74
3.6	其他神经元	75
3.6.1	G 神经元模型	75
3.6.2	RM 元	76
<b>4</b>	<b>联接方式</b>	<b>77</b>
4.1	分层神经元网的一般结构	77
4.2	联接矩阵图	78
4.3	神经网络的多层组织	79
<b>5</b>	<b>训练和学习</b>	<b>81</b>
5.1	乘积学习规则	81
5.1.1	给定一个训练样本对时权矩阵的设计	82
5.1.2	给定多个训练样本对时权矩阵的设计	82
5.2	关联学习	83
5.2.1	学习规则与公式	83



5.2.2	与乘积学习规则的区别	84
5.2.3	局限性与改进	84
5.3	线性元网络的差值规则训练法	85
5.3.1	乘积规则的缺陷	85
5.3.2	基本差值规则（用于单层线性网络）	85
5.3.3	基本差值训练算法的收敛性分析	86
5.4	准线性元网络的差值规则	87
5.4.1	准线性神经元	87
5.4.2	多层准线性元网络（多层感知器，MLP）的反向传递算法（BP）	88
5.5	随机训练	88
5.5.1	差值训练算法缺点	88
5.5.2	逃离局部最小点的策略	89
5.5.3	神经网络的随机训练法	89
5.5.4	随机训练算法的具体实施方案	91
<b>6</b>	<b>前馈网络</b>	<b>93</b>
6.1	感知器	93
6.1.1	感知器模型	93
6.1.2	用来进行模式识别	95
6.1.3	用来实现逻辑函数	95
6.1.4	异或（XOR）问题	96
6.2	多层感知器（MLP）	97
6.2.1	多层感知器的功能	97
6.2.2	多层感知器的学习算法（反向传递算法）	98
6.2.3	多层感知器存在的问题与局限性	104
6.3	径向基函数（RBF）网络	107
6.3.1	RBF 的基本功能	108
6.3.2	RBF 网的学习算法	109
6.3.3	RBF 网的扩展	110
6.3.4	RBF 网的学习复杂度	111
6.4	前馈网络与其他模式分类器	111
6.4.1	高斯分类器	111
6.4.2	混合高斯法与窗函数法	112
6.4.3	区分函数分类器	112
6.4.4	距离分类器	112
<b>7</b>	<b>动态网络</b>	<b>114</b>
7.1	延时网络（TDNN）	114
7.2	双向联想存储	116



7.2.1	一些预备知识	116
7.2.2	双向联想存储器 (BAM)	117
7.3	Hopfield 网	121
7.4	递归网络	125
7.4.1	神经元方程	125
7.4.2	学习算法	126
7.4.3	例子	128
7.5	Bolzmnn 机	129
7.5.1	问题的提出	130
7.5.2	自联想 Bolzmnn 机	130
7.5.3	异联想 Bolzmnn 机	136
7.5.4	例子	137
8	竞争网络	139
8.1	汉明网	139
8.1.1	汉明网的拓扑结构	139
8.1.2	权矩阵的计算 (存储)	140
8.1.3	神经元功能函数	141
8.1.4	网络的运行	142
8.1.5	Hamming 网的优越性	142
8.1.6	实现独活型竞争 (选极大) 的其他网网络结构	142
8.2	自组织特征映射	142
8.2.1	自组织特征映射的思想来源	143
8.2.2	自组织特征映射的网络模型	144
8.2.3	仿真实例	147
8.2.4	几点注意事项	148
8.2.5	关于 SOFM 的几点评论	148
8.3	适应谐振网——ART1	148
8.3.1	Grossberg 及其自适应谐振网理论	148
8.3.2	ART1 拓扑结构	149
8.3.3	ART1 的运行 (无师学习算法)	154
8.3.4	运行实例	155
8.3.5	ART <sub>1</sub> 的优缺点	157
8.4	自适应谐振网-ART2	158
8.4.1	ART2 的拓扑结构	158
8.4.2	F <sub>1</sub> 层短期记忆方程	159
8.4.3	F <sub>2</sub> 层短期记忆方程	160
8.4.4	重置方程	160

8.4.5	学习方程	161
8.4.6	权初值的选取	161
8.4.7	对参数 $c, d$ 的约束	161
8.4.8	ART2 的学习算法	162
8.4.9	ART2 的特点	164
8.4.10	仿真实例	165
8.4.11	ART2 的另外两种结构	166
8.4.12	ART2 的缺点	166
<b>9</b>	<b>模糊自适应网</b>	<b>167</b>
9.1	模糊自适应谐振网 (Fuzzy ART)	167
9.1.1	基本思想	167
9.1.2	符号与术语	169
9.1.3	模糊自适应谐振算法	169
9.1.4	算法说明	171
9.1.5	算法的几何解释	172
9.1.6	例子	174
9.1.7	模糊自适应谐振网的缺点	174
9.2	模糊极小—极大网	175
9.2.1	FMM 网的输入空间	175
9.2.2	超盒、模糊集与隶属函数	176
9.2.3	拓扑结构与神经元	177
9.2.4	网络的运行	178
9.2.5	网络的有师训练算法	179
9.2.6	例子	182
9.2.7	总结	182
9.3	一般模糊极小—极大 (GFMM) 网	183
9.3.1	拓扑结构	183
9.3.2	超盒模糊集的隶属函数	183
9.3.3	学习算法	186
9.3.4	网络的运行	187
9.3.5	模拟例子	188
<b>**9.4</b>	<b>模糊格神经网络 (FLNN)</b>	<b>188</b>
9.4.1	模糊格理论基础	188
9.4.2	模糊格神经网络	193
9.4.3	$V_L$ 中包含测度的定义	198
9.4.4	实验结果	200
<b>*9.5</b>	<b>递归自组织模糊推理网络 (RSONFIN)</b>	<b>202</b>

9.5.1	基本思想 .....	202
9.5.2	RSONFIN 的模型 .....	203
9.5.3	RSONFIN 的结构学习 .....	206
9.5.4	参数学习 .....	210
9.5.5	例子 .....	213
<b>**10</b>	<b>统计学习理论 .....</b>	<b>215</b>
10.1	学习理论的背景 .....	215
10.1.1	预报函数估计模型 .....	216
10.1.2	风险极小化问题准则 .....	216
10.1.3	三种主要的学习问题 .....	216
10.1.4	经验函数极小化推导准则 .....	217
10.1.5	ERM 与经典方法 .....	217
10.1.6	学习理论的四部分 .....	218
10.2	学习过程一致性理论 .....	219
10.2.1	学习理论的基本定理 .....	219
10.2.2	一致收敛的充要条件 .....	219
10.2.3	学习理论中的三个里程碑 .....	221
10.3	学习过程收敛率的界限 .....	222
10.3.1	增长函数的结构 .....	222
10.3.2	VC 维数的等价定义 .....	223
10.3.3	两个重要例子 .....	223
10.3.4	不依赖于分布的学习过程收敛率 .....	224
10.3.5	(依赖分布) 构造严格上界 .....	225
10.4	控制学习机泛化性能的理论 .....	225
10.5	构造性学习算法的理论 .....	226
10.5.1	划分超平面法及其推广 .....	227
10.5.2	示性函数的 S 型逼近与神经网络 .....	227
10.5.3	最优划分超平面 .....	228
10.5.4	支承向量机 .....	231
10.5.5	为什么神经网络与支承向量机能够泛化 .....	233
10.6	结论 .....	234
<b>参考文献</b>	.....	<b>235</b>

# 1 引 论

物质的本质、宇宙的起源、生命的本质、智能的本质，这四大奥秘自古以来一直在吸引着人类的注意力，对这些根本问题研究的任何进展都深刻地影响着人类文明的进程。大致来说，物质的本质问题属于物理学研究范围，宇宙的起源问题属于天文学研究范围，生命的本质问题属于生物学研究范围，而智能的本质问题则属于思维科学研究范围。众所周知，天文学研究成果导致了人类和自然关系的彻底变革；物理学研究成果及其应用极大地延伸了人类的感官和四肢作用的深度和广度，使人类具有了巨大的、甚至是可怕的力量；生物学、医学的研究成果使人类拥有日益丰富的食物来源，平均寿命不断增加；而思维科学的研究成果则以电子计算机为突出代表，它极大地延伸了人类大脑的功能，是人类进入信息社会的铺路石。

科学发展的动力来自两个方面：即内在动力和外动力。内在动力归根结底是人类探求未知的欲望，是人类永不满足的好奇心，不带任何功利色彩；外动力是社会功利主义的要求，希望科学研究物化成技术后带来实际利益。从实际利益角度看，人类绝大部分的体力劳动包括家务都已经可以机械化，相比之下，脑力劳动机械化的程度要低得多，现在计算机所能完成的仅仅是数值计算和逻辑推理的一部分，基本上不能进行形象思维，灵感思维更不沾边。因此，以人工智能为重要内容的思维科学研究不但有紧迫感，而且任重道远。

人工神经网络是人工智能的一个分支，它从微观上模拟大脑皮层的感知和思维功能，涉及数学、计算机、思维科学、神经生理学、心理学、模式识别、非线性动力学等众多学科，是一个正在迅速发展中的交叉性学科。

本章简要介绍神经网络的基本概念、研究目的、研究内容。由于神经网络与人工智能密切相关，所以对思维科学与智能、人工智能也进行了简要介绍，熟悉人工智能的读者可以略去 1.1 节、1.2 节直接阅读 1.3 节。

## 1.1 智能与思维科学

### 1.1.1 智能

人没有虎豹的尖牙利爪，没有雄鹰矫健的翅膀，也没有鲨鱼的血盆大口，但是在物竞天择、适者生存的漫长生物进化过程中，人类却最终成为万物之灵，以至像狮子老虎这样的猛兽，在人类的枪口下濒临灭绝，需要采取保护措施。再看人类社会，世界各民族在长期的融合与斗争中，一些民族壮大了，另一些民族衰弱了，还有一些民族消失了。欧亚大

陆一些游牧民族素来剽悍善战，“望尘识马步多少，嗅地知军度远近，”一度纵横世界，今天却毫无例外地变成了小国、弱国，当今世界强国无一不是科技强国。由此可知，高度发达的智能是人类力量的主导要素，对人类智能本身的研究也就成为最重要的研究。

一般说来，智能指人类所特有的知识和智力，具体地说，智能有如下特点。

#### 1. 具有感知能力

感知能力是人通过视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等感觉器官感知外部世界的能力。感知是人类最基本的生理、心理现象，是获取外部信息的基本途径。人类的大部分知识都是通过感知获取有关信息，然后经过大脑加工获得的。可以说如果没有感知，人们就不可能获得知识，也不可能引发各种各样的智能活动。因此，感知是产生智能活动的前提与必要条件。

在人类的各种感知方式中，它们所起的作用不完全一样。依照作用距离远近，依次为视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉。据有关研究，大约 80% 以上的外界信息是通过视觉得到的，有 10% 是通过听觉得到的，其余不足 10% 由触觉、嗅觉和味觉得到。这就不难理解，为什么当前关于机器感知的研究集中于机器视觉和听觉。

#### 2. 具有记忆与思维能力

记忆与思维是人脑最重要的功能，也是人之所以有智能的根本原因。记忆用于存储由感觉器官得到的外部信息以及由思维产生的知识；思维用于对记忆的信息进行处理，即利用已有的知识对信息进行分析、计算、比较、判断、推理、联想、决策等。思维是一个动态过程，是获取知识以及运用知识求解问题的根本途径。这部分内容在下文有详细叙述。

#### 3. 具有学习能力与自适应能力

学习是人的本能，每个人都在随时随地进行着学习，可能是自觉的、有意识的，也可能是不自觉、无意识的；可能是有教师（包括老师、长辈、同学、同事、书本、音像等）指导的，也可能是全靠自己领悟的。总之，人人都在通过与环境的相互作用，不断地进行着学习，并通过学习积累知识、增长才干，适应环境变化、充实、完善自己。只不过由于各人所处环境不同、条件不同，学习效果亦不尽相同，体现出不同的智能差异。

#### 4. 具有行为能力

人们通常用语言或某个表情、眼神及形体动作来对外界的刺激做出反应，传达某个信息，这称为行为能力或表达能力，它们都受神经系统控制。

### 1.1.2 思维科学

人类智能的主要特点是思想，而思想的核心是思维。思维科学是研究思维规律和方法的科学，它不涉及对具体思维内容的研究。人的思维中除了自己能够控制的意识外，还有很多意识是人脑不能控制的，即下意识或潜意识。例如人刚开始学习骑自行车时，一不留神就要摔跤，时时刻刻、每个动作都要动脑筋，而熟练以后全身配合自如，脑子基本不去想，还可以边骑边哼小曲。这说明的确有很多意识是没有经过大脑的。思维科学研究的是人能控制的那一部分意识。

### 1.1.3 思维的类型

思维可分成三大类：抽象思维、形象思维和灵感（顿悟）思维。对抽象思维，人类研究的时间长、成果比较丰富，可以说是知之甚多；对形象思维，研究时间不长，成果不多，可以说是略有所知；对灵感思维，人类感到困惑，可以说是几乎无知。

#### 1.1.3.1 抽象思维

抽象思维又称为逻辑思维。逻辑是指人的思维规律，它可分为形式逻辑与辩证逻辑两大类。

##### 1. 形式逻辑

形式逻辑研究内容是思维形式的结构与思维的基本规律。例如三段论就是一种思维形式的结构。思维的基本规律主要有同一律、矛盾律、排中律、因果律。

##### 2. 抽象思维的形式

抽象思维的形式是概念、判断和推理。

概念包括两个方面，一是概念的内涵，一是它的外延。内涵是概念对象的本质属性，外延是指具有这个本质属性的一切个体。概念外延所构成的类叫集合，集合论是从外延角度研究概念的。

概念与概念的联合形成判断，它断定思维对象是否具有某属性，判断结果只有两个值，肯定叫真，否定叫假。

判断与判断的联合形成推理，它从一个或多个判断获得一个新的判断。已有的一个或多个判断称为前提（条件），新判断称为结论。

抽象思维的特点如下：

- (1) 依靠逻辑进行思维。
- (2) 思维过程是串行、线性的。
- (3) 易于形式化，思维过程可用符号串表达。
- (4) 思维过程具有严密性、可靠性、预见性。

##### 3. 辩证逻辑和数理逻辑

把高等数学中关于变量等概念引进形式逻辑，就形成辩证逻辑。例如“塞翁失马，焉知非福”，就是一种辩证思维，它着眼于事物发展变化的全过程考虑问题。辩证思维最基本的规律是对立统一规律。

数理逻辑又称符号逻辑，它源于形式逻辑，但已发展成一门独立学科。它用符号把概念、命题（判断）抽象为公式，把命题间的推理抽象为公式间的关系，并把推理转化为公式的推演。

##### 4. 模糊逻辑

传统的逻辑是基于集合论的二值逻辑，要么是，要么非，没有任何含糊，严格满足排中律。但人类在日常生活中广泛使用着模糊概念，例如“高个子”、“大胡子”、“帅哥”、“靓姐”等，他们并没有明确的外延。为了表达人类的这种模糊思维能力，扎德（L. A. Zadeh）

于 1965 年创立了模糊数学, 逻辑真值可以在区间 $[0, 1]$ 中连续取值, 它是一种连续值逻辑, 可以看成广义排中律。

### 1.1.3.2 形象思维

人的感觉器官接触到外界事物, 通过大脑产生感觉, 不同的感觉(视觉、听觉等)融合以后形成知觉, 知觉在脑中形成外界事物的感性形象, 这个感性形象称为映像或者表象, 用表象思维的活动称为形象思维, 也叫直观思维, 其思维过程主要表现为类比、联想、想象。形象思维具有如下特点:

- (1) 主要依靠直觉, 即感觉形象进行思维。
- (2) 思维过程是并行式、非线性的。
- (3) 形式化困难, 没有统一的形象联系规则。
- (4) 在信息变形或缺损的情况下仍有可能得到比较满意的结果。

### 1.1.3.3 灵感思维

常言说“灵机一动, 计上心来,”这种突如其来、稍纵即逝的思维现象, 叫做灵感思维。虽然不像阿基米德躺在浴盆里突然想到浮力原理那么著名, 但许多科技人员都体验过这种现象, 当然并非人人如此。英国剑桥大学生物学家贝弗里奇(W.L.Beveridge)论述灵感思维心理学时说:“这种现象的心理作用仍未被充分理解。一般的, 虽然不是普遍的意见认为: 它产生于头脑的下意识活动, 这时, 也许头脑已经不再自觉注意这个问题了, 然而却还在通过下意识活动思考它。”我国著名科学家钱学森说:“如果逻辑思维是线性的, 形象思维是二维的, 那么灵感思维好像是三维的。”“研究人类的潜意识活动是搞清灵感思维的起步方向。”但什么是潜意识呢? 这是一个很不好研究的问题。

## 1.2 人工智能

同一直在寻求体力劳动机械化一样, 人类也一直在寻求脑力劳动机械化。筹码、算盘、计算尺等都是这种追求的历史产物, 直到 20 世纪 40 年代出现电子计算机, 情况发生了根本改变, 人工智能应运而生。本节仅对人工智能进行粗略介绍。

### 1.2.1 人工智能的概念

人工智能就是用人工的方法在机器(计算机)上实现的智能, 又称机器智能。作为一门学科, “人工智能”这个名词的含义是: 它是一门研究如何构造智能机器(智能计算机)或智能系统, 使之能模拟、延伸、扩展人类智能的学科。通俗地说, 人工智能就是要研究如何使机器具有能听、会说、能看、会写、能思维、会学习、能适应环境变化、能解决面临的各种实际问题等功能的一门学科。总之, 它是要使机器能做需要人类智能才能完成的工作, 甚至比人更聪明。

关于人工智能的含义, 早在它还没有正式作为一门学科出现之前, 就由英国数学家图灵(A. M. Turing, 1912~1954)提出。1950 年他发表了题为“计算机与智能”(Computing



Machinery and Intelligence) 的论文, 提出了著名的“图灵测试”, 形象地指出什么是人工智能以及机器应该达到的智能标准, 直至今日, 仍然有许多人把它作为衡量机器智能的准则。图灵在这篇论文中指出, 不要问一台机器是否能思维, 而是要看它能否通过以下测试: 把机器和人安排在两个不同房间, 他们可以对话, 但彼此看不见, 如果通过对话, 作为人的一方不能分辨对方是人还是机器, 那么就可以认为对方的那台机器达到了人类智能的水平。图灵还为测试设计了对话内容, 对话中 A 代表人, B 代表机器, 假定他们都读过狄更斯 (C. Dickens) 的小说《匹克威克外传》。对话内容如下:

A: 你的 14 行诗的首行为“你如同夏日”, 你不觉得“春日”更好吗?

B: 它不合韵。

A: “冬日”如何? 它可是完全合韵的。

B: 它确是合韵的, 但没有人愿意被比作“冬日”。

A: 你不是说过匹克威克先生让你想起圣诞节吗?

B: 是的。

A: 圣诞节是冬天的一个日子, 我想匹克威克先生对这个比喻不会介意吧?

B: 我认为你不够严谨, “冬日”是指一般冬天的日子, 而不是一个冬天的日子, 如圣诞节。

由以上对话可以看出, 要使机器达到人类智能水平, 是一项艰巨的任务。若以图灵的标准来衡量 1997 年战胜世界国际象棋棋王帕斯卡洛夫的 IBM 公司的深蓝计算机, 它还并不是一台智能计算机, 它只是以其高速并行计算能力模拟了人类的部分智能。

## 1.2.2 人工智能的发展简史

### 1.2.2.1 孕育 (~1956)

公元前, 大约与孔子同时代的希腊哲学家亚里斯多德 (Aristotle, 公元前 384~322) 就提出了形式逻辑的一些主要定律, 他提出的三段论至今仍是演绎推理的基本依据。

英国哲学家培根 (F. Bacon, 1561~1626) 系统提出了归纳法, 还提出了“知识就是力量”的警句, 这对于研究人类的思维过程, 以及 20 世纪 70 年代人工智能转向以知识为中心的研究都产生了重要影响。

德国数学家莱布尼兹 (G. Leibniz, 1646~1716) 提出了万能符号和推理计算的思想, 他认为可以建立一种通用的符号语言并用来进行推理演算。这一思想不仅为数理逻辑的产生与发展奠定了基础, 而且是现代机器思维设计思想的萌芽。

英国逻辑学家布尔 (G. Boole, 1815~1864) 创立了布尔代数, 首次用符号语言描述了思维活动的基本推理法则。

英国数学家图灵除上文提及的贡献外, 还在 1936 年提出了一种理想计算机模型, 即图灵机, 为后来电子数字计算机问世奠定了理论基础。

美国神经生理学家麦克洛奇 (J. W. McCulloch) 和匹兹 (W. Pitts) 在 1943 年构造了第一个神经网络模型 (M-P 模型), 开创了微观人工智能的研究工作, 为后来人工神经网络

的研究奠定了基础。

美国数学家莫克利 (J. W. Mauchly) 在 1946 年研制出世界上第一台电子数字计算机 ENIAC, 这项划时代的研究成果, 为人工智能的研究奠定了物质基础。

#### 1.2.2.2 形成 (1956~1969)

1956 年夏, 美国几所大学和研究所的 10 名学者会聚达特茅斯大学, 召开了历时两月的有关机器智能的研讨会, 正式采用了人工智能这一术语, 标志着这门新学科诞生。在此之后的十余年间, 人工智能取得了许多引人瞩目的成就, 1969 年成立了国际人工智能联合会, 标志着人工智能得到世界公认。

#### 1.2.2.3 发展 (1970~)

进入 20 世纪 70 年代以后, 人工智能研究从少数国家扩展到世界许多国家, 涌现了大量成果。1970 年国际性人工智能杂志 (Artificial Intelligence) 创刊。斯坦福大学教授费根鲍姆关于以知识为中心的观念被大多数人接受, 人工智能从对一般思维规律的探讨转向以知识为中心的研究, 80 年代专家系统的研究在各种领域取得进展。对不确定性知识的表示与推理取得了突破, 建立了主观贝叶斯理论、确定性理论、证据组合理论等。

我国从 1978 年开始把“智能模拟”作为国家科学技术发展的主要研究课题之一, 1981 年成立了中国人工智能学会。

### 1.2.3 人工智能的研究目标

人工智能的研究目标分近期和远期。研制像图灵所希望的那种智能机器, 它不仅能模拟而且能延伸、扩展人类智能, 是人工智能研究的最终目的。但是目前的数字计算机是冯·诺依曼式计算机, 它适合于处理串行、精确的数字计算, 不能进行并行、形象思维, 所以想要依靠现行计算机实现图灵式人工智能是没有可能的。因此, 研制图灵式智能机器只能作为远期目标。

人工智能研究的近期目标是使现有的计算机更有用、更聪明, 使它不仅能做一般的数值计算及非数值信息的数据处理, 而且能运用知识处理问题, 能模拟人类的部分智能行为。

### 1.2.4 人工智能研究的基本内容

在人工智能研究中有若干学派, 例如逻辑学派 (研究基于逻辑的知识表示及推理机制)、认知学派 (研究对人类认知功能的模拟, 试图找出产生智能行为的原理)、知识工程学派 (研究知识在人类智能中的作用和地位)、连接学派 (研究神经网络)、分布式学派 (研究多智能系统中的知识与行为), 以及进化论学派等。不同学派研究内容与方法都不相同。另外, 人工智能又有多种研究领域, 各研究领域的研究重点亦不相同。还有, 在人工智能不同发展阶段, 研究侧重面也不相同。因此, 只能结合人工智能的远期目标, 在较大的范围内讨论人工智能的基本研究内容。

#### 1.2.4.1 机器感知

机器感知就是使机器 (计算机) 具有类似于人的感知能力, 其中以机器视觉与机器听