



人工智能系列规划教材

全国高等院校计算机基础教育研究会重点立项项目

深度学习 理论与实践

主 编◎杨博雄

副主编◎李社蕾 肖 衡 高华玲

梁志勇 于 营



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



人工智能系列规划教材

全国高等院校计算机基础教育研究会重点立项项目

深度学习理论与实践

主 编 杨博雄
副主编 李社蕾 肖 衡 高华玲
梁志勇 于 营



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书系统地介绍了对新一代人工智能发展起主导作用的深度学习算法的来源、发展现状、工作机理及数学基础等。在此基础上,本书对典型的深度学习算法(如卷积神经网络、图卷积神经网络、循环神经网络、递归神经网络、深度置信网络、生成对抗网络、深度迁移学习等)进行了深入介绍,通过严密的理论推导、各种新型算法的比较,并配合丰富生动的案例讲解,来增强读者对深度学习算法的基本原理、开发方法、应用部署等的全面掌握。本书既具备一定的理论深度,也具有一定的应用高度,不仅可作为高等院校人工智能、智能科学与技术、计算机科学与技术、数据科学与大数据、模式识别与智能系统等专业及相关专业的本科生、研究生的教材,也可作为从事基于深度学习的各类智能化应用的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

深度学习理论与实践 / 杨博雄主编. — 北京: 北京邮电大学出版社, 2020. 9

ISBN 978-7-5635-6202-2

I. ①深… II. ①杨… III. ①机器学习—算法 IV. ①TP181

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 170320 号

策划编辑: 马晓仟 责任编辑: 孙宏颖 封面设计: 七星博纳

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷:

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 15.75

字 数: 412 千字

版 次: 2020 年 9 月第 1 版

印 次: 2020 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-6202-2

定价: 40.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

自从在 1956 年的达特茅斯会议上“人工智能”(Artificial Intelligence, AI)的概念被首次提出以及图灵提出将“图灵测试”作为人工智能发展的目标以来,人类对于人工智能的研究和逐梦已经走过了半个多世纪的风雨历程,其间取得了一系列辉煌成果,同时也经历了数次寒冬。近几年,人工智能再度进入爆发期,究其原因,主要得益于 3 种技术的进步:算力、数据和算法。以 GPU 为代表的并行计算单元的应用和普及使得各种 AI 应用计算能力大幅提升,显著地提高了数据处理速度。大数据的出现为人工智能的发展注入了燃料,大幅地提高了机器学习效率。2016 年 3 月阿尔法围棋(AlphaGo)的诞生让深度学习(Deep Learning, DL)算法声名鹊起,其成为推动新一代人工智能技术发展的主要动力。

相比前几代人工智能技术的起起落落,新一代人工智能技术真正产生了明显的经济效益和社会效益,极大地提升了人民的生活质量,市场中出现了很多全新的高智能产品(如天猫精灵、小度在家、Apollo 自动驾驶、讯飞翻译机等)。以深度学习为代表的新一代人工智能技术不仅大大地促进了科技的发展和社会的进步,而且极大地影响甚至改变了人们的生产生活与思维方式。在学术界和产业界的共同推动下,新一代人工智能技术不仅有技术研究的原创推动力,而且有产业应用的强大牵引力,具有以往人工智能技术发展所无法具备的良好商业模式,形成了能持续前行、不断超越的良性循环。我们所处的时代已经从大数据时代推演到基于大数据和移动互联网驱动的新一代人工智能技术时代,形成了异彩纷呈的“AI+应用”。基于智能时代涌现出的各种新技术、新应用层出不穷,新产品、新服务日新月异,极大地影响甚至改变着我们当今的生产生活乃至思维方式,推动了多个领域的变革和跨域式发展。

深度学习无疑在新一代人工智能技术的发展中扮演着极其重要的角色,它原是机器学习(Machine Learning, ML)领域中一个新的研究方向,它被引入机器学习使人工智能更接近人类的追求目标,让机器能够像人一样具有分析学习能力,能够识别文字、图像和声音等数据。深度学习的理论虽然有待研究,但其取得的效果远远超过先前相关技术。如今,深度学习在搜索技术、数据挖掘、机器学习、机器翻译、自然语言处理、多媒体学习、语音识别、推荐和个性化技术,以及其他相关领域都取得了很多成果。深度学习使机器模仿视听和思考等人类的活动,解决了很多复杂的模式识别难题,使得与人工智能相关的技术

取得了很大进步。

本书对人工智能的发展之路以及深度学习的产生背景进行了详细的阐述,对深度学习在新一代人工智能技术中所起到的主导作用进行了分析。在此基础上,本书对深度学习的基本理论和工作机理进行了详细的介绍,对典型的深度学习算法如卷积神经网络、图卷积神经网络、循环神经网络、递归神经网络、深度置信网络、生成对抗网络等进行了深入研究和探讨。通过严密的理论推导、与各种新型算法的比较,并结合丰富生动的各种案例,本书不仅具有一定的理论深度,同时也具有一定的应用高度。本书不仅适合基础理论研究,而且适用于实际工程应用,可以作为当前“智能科学与技术”“机器人工程”等专业的高年级本科生或者研究生阶段的教材。

本书由三亚学院杨博雄、李社蕾、肖衡、高华玲、梁志勇、于营 6 位老师共同编写。由于写作时间仓促,本书难免会有一些纰漏,敬请读者谅解并欢迎批评指正!

作者
2020 年 8 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 新一代人工智能	4
1.3 深度学习	7
1.3.1 深度学习的起源	7
1.3.2 深度学习的发展	7
1.3.3 深度学习的爆发	8
1.4 人工智能、机器学习与深度学习的关系	9
本章小结	13
课后习题	13
第 2 章 深度学习基础知识	15
2.1 人工神经网络	15
2.1.1 神经元	15
2.1.2 感知器	16
2.1.3 多层感知器	17
2.2 BP 算法	18
2.2.1 BP 算法的基本原理	18
2.2.2 激活函数	20
2.2.3 梯度下降法	22
2.3 深度学习与神经网络	26
2.3.1 深度学习的基本思想	26
2.3.2 深度学习与神经网络的关系	27
2.3.3 深度学习的学习过程	27
2.4 深度学习的主要方法	29
2.4.1 监督学习	29
2.4.2 无监督学习	30
2.4.3 半监督学习	31
2.4.4 增强学习	31
2.4.5 迁移学习	33
2.4.6 对偶学习	33

2.5 深度学习开源框架与 TensorFlow 示例	34
2.5.1 深度学习开源框架	34
2.5.2 TensorFlow 与编程示例	36
本章小结	42
课后习题	43
第 3 章 卷积神经网络	44
3.1 卷积神经网络简介	44
3.2 卷积层	46
3.2.1 卷积层介绍	46
3.2.2 TensorFlow 实现卷积操作	53
3.2.3 激活函数	57
3.3 池化层	59
3.3.1 池化层介绍	59
3.3.2 TensorFlow 实现池化操作	61
3.4 全连接层	62
3.4.1 全连接层介绍	62
3.4.2 TensorFlow 全连接神经网络的实现	65
3.5 经典 CNN 模型	66
3.5.1 AlexNet	66
3.5.2 VGGNet	67
3.5.3 GoogLeNet	68
3.5.4 ResNet	70
3.6 CNN 的应用领域	71
3.6.1 计算机视觉	72
3.6.2 自然语言处理	76
3.6.3 语音识别	78
3.7 CNN 应用实例	79
3.7.1 手写数字识别	79
3.7.2 写诗机器人	82
3.7.3 基于 GANs 生成人脸	88
本章小结	94
课后习题	94
第 4 章 图卷积神经网络	97
4.1 图卷积神经网络的基础	97
4.1.1 图的定义	97
4.1.2 图节点表示	98
4.1.3 图节点的聚合	99
4.1.4 子图级嵌入	105

4.1.5 图神经网络的输出	106
4.2 基于谱域的图卷积神经网络	106
4.2.1 基于 Fourier 的图上卷积算子的构建	106
4.2.2 基于谱图小波变换的图上卷积算子的构建	130
4.3 基于空间域的图卷积神经网络	142
4.3.1 注意力机制	142
4.3.2 图注意力层	143
4.3.3 应用案例——GAT	145
4.4 基于 GCN 的图时空网络	147
4.4.1 道路图的交通预测	147
4.4.2 图的卷积	148
4.4.3 STGCN 模型	148
本章小结	150
课后习题	150
第 5 章 循环神经网络和递归神经网络	151
5.1 循环神经网络的概念	151
5.2 循环神经网络前向计算	152
5.3 长短时记忆网络	154
5.3.1 LSTM 结构	154
5.3.2 LSTM 前向计算	155
5.3.3 实验:利用 LSTM 模型生成古诗	156
5.4 循环神经网络的其他变形及应用	159
5.4.1 GRU	159
5.4.2 序列到序列模型	160
5.4.3 实验:基于 Seq2Seq 模型的聊天机器人	161
5.5 递归神经网络	163
5.5.1 递归神经网络的前向计算	166
5.5.2 递归神经网络的训练	167
5.5.3 权重梯度的计算及权重更新	170
本章小结	171
课后习题	171
第 6 章 深度置信网络	174
6.1 受限玻尔兹曼机	174
6.1.1 引言	174
6.1.2 玻尔兹曼机	174
6.1.3 受限玻尔兹曼机的定义	175
6.1.4 RBM 参数学习	176
6.1.5 RBM 模型参数求解	177

6.1.6	RBM 模型训练算法	177
6.1.7	RBM 模型评估	178
6.2	深度置信网络概述	178
6.2.1	引言	178
6.2.2	DBN—DNN 结构	179
6.2.3	模型训练	180
6.3	深度置信网络实验	183
	本章小结	191
	课后习题	191
第 7 章	生成对抗网络	192
7.1	引言	192
7.2	GAN 原理与模型训练方法	193
7.2.1	GAN 的工作原理	193
7.2.2	GAN 的特点及其优缺点	193
7.2.3	GAN 的基本模型	194
7.2.4	GAN 模型的挑战	194
7.2.5	GAN 与 Jensen—Shannon 散度	195
7.2.6	生成器与判别器的网络	196
7.3	GAN 的模型改进	197
7.3.1	WGAN	197
7.3.2	WGAN—GP	198
7.3.3	LSGAN	199
7.3.4	f -GAN	199
7.3.5	LS—GAN 与 GLS—GAN	200
7.3.6	EBGAN	201
7.3.7	BEGAN	202
7.4	GAN 的应用模型改进	203
7.4.1	CGAN	203
7.4.2	InfoGAN	204
7.4.3	Pix2Pix	205
7.4.4	CycleGAN	206
7.4.5	StarGAN	207
7.4.6	SRGAN	208
7.4.7	DeblurGAN	210
7.4.8	AttentiveGAN	212
7.5	GAN 的应用	213
7.5.1	图像领域	213
7.5.2	视频领域	213
7.5.3	人机交互领域	214

7.6 GAN 模拟实验	214
7.6.1 实验目标	214
7.6.2 实验内容	214
7.6.3 实验步骤	215
7.6.4 实验结果	223
本章小结	223
课后习题	223
第 8 章 深度迁移学习	225
8.1 引言	225
8.2 迁移学习的概念与原理	226
8.2.1 迁移学习的概念	226
8.2.2 迁移学习的原理	226
8.3 迁移学习的方法	227
8.3.1 基于实例的迁移学习方法	228
8.3.2 基于特征的迁移学习方法	229
8.3.3 基于模型的迁移学习方法	230
8.3.4 基于关系的迁移学习方法	230
8.4 深度迁移学习概述	231
8.4.1 基于实例的深度迁移学习	231
8.4.2 基于映射的深度迁移学习	232
8.4.3 基于网络的深度迁移学习	232
8.4.4 基于对抗的深度迁移学习	233
8.5 深度迁移学习实验	233
本章小结	238
课后习题	238
参考文献	239

第 1 章 概 述

2016 年 3 月,自一台名叫阿尔法狗(AlphaGo)的围棋机器人以 4 : 1 的成绩击败了代表人类围棋界最高水准的李世石以来,“深度学习”算法再一次掀起了人工智能(Artificial Intelligence, AI)的发展热潮,人工智能又一次成为全球瞩目的焦点,并蓬勃发展,进而出现了自然语言理解、机器翻译、智能推介、虚拟客服、人脸支付、机器作词作曲、自动驾驶等更高智能化的产品与服务。与以往不同的是,这次人工智能革命既有扎实的技术驱动,又有丰富的市场拉动,形成了良好的科技、产业、商业协同发展的模式,使人工智能成了“互联网+”行动中的领头羊,人工智能将有望成为下一轮万亿级经济发展的重要引擎。

1.1 引 言

1950 年,人工智能之父艾伦·麦席森·图灵(Alan Mathison Turing)在其发表的论文《计算机器与智能》中提出了著名的“图灵测试”(the Turing test),如图 1-1 所示,即在测试者与被测试者〔被测试者为一台机器(A)和一个人(B)〕被墙壁隔开的情况下,通过一些装置(如键盘)向被测试者随意提问。如果机器平均让每个参与测试者做出超过 30%的误判,那么就可以认为这台机器通过了测试,并认为该机器具有人类智能。图灵测试为人工智能发展指明了方向和验证方法,并成为人工智能发展的最高目标。

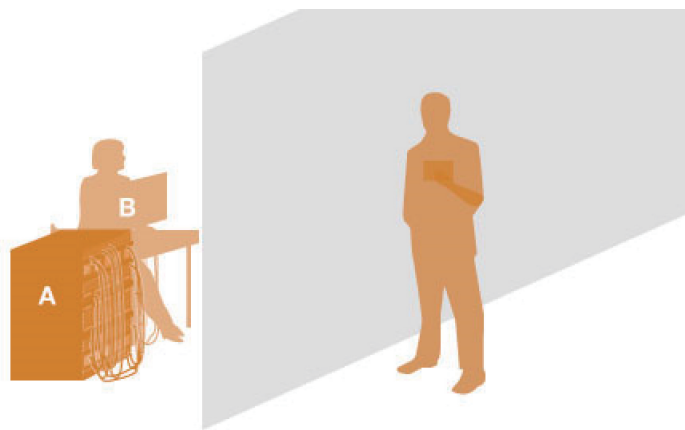


图 1-1 图灵测试

1956 年,来自世界各地的一批科学家、工程师等在美国达特茅斯(Dartmouth)大学举办了一场研讨会,会议上首次提出了“Artificial Intelligence”,这标志着 AI 学科的诞生。中国将“Artificial Intelligence”翻译成“人工智能”,意指让计算机(机器)具有人类一样的智慧和能力,如判断、推理、证明、识别、感知、理解、通信、设计、思考、规划、学习和问题求解等思维活动,并让由计算机控制的智能机器代替人类进行需要脑力分析和决策的工作,由此开启了基于计算机技术的人工智能发展之路。

从人工智能概念的提出到今天,人工智能技术与产业应用一波三折,其间经历数次寒冬,其代表性的技术以及里程碑应用如图 1-2 所示。从时间节点和智能表现形式上看,我们将人工智能的发展归纳为 3 个阶段,第一阶段是计算智能(20 世纪 50 年代到 80 年代),第二阶段是认知智能(20 世纪 80 年代到 21 世纪初),第三阶段是感知智能(2000 年迄今)。

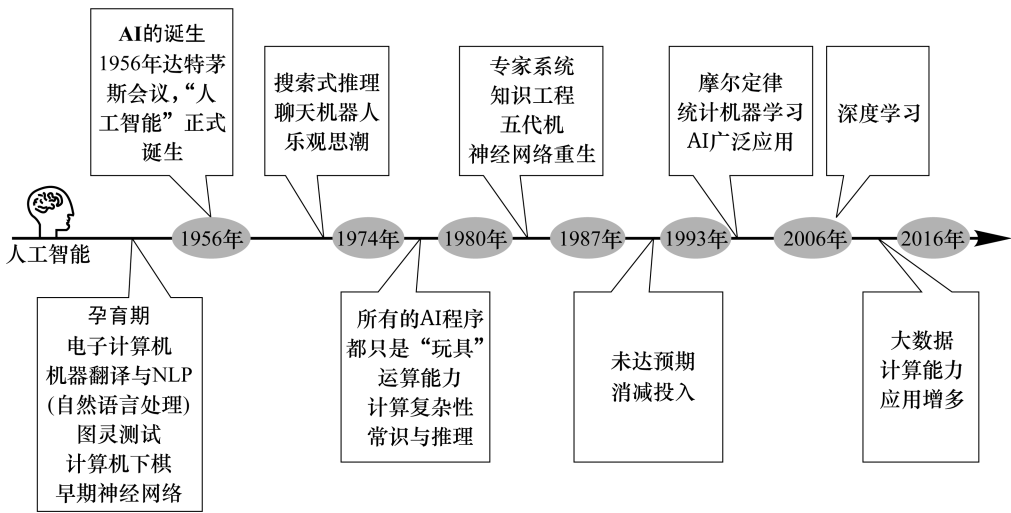


图 1-2 人工智能发展历程

1. 人工智能第一波浪潮

20 世纪 50 年代末到 80 年代初被认为是人工智能发展的第一个黄金时期。在这一时期,科学家将符号方法引入统计方法中进行语义处理,出现了基于知识的方法,人机交互开始成为可能;科学家发明了多种具有重大影响的算法,如深度学习模型的雏形——贝尔曼(Bellman)公式。

除在算法和方法论方面取得了进展外,科学家们还制作出了具有初步智能的机器,如能证明应用题的机器 STUDENT(1964 年)、可以实现简单人机对话的机器 ELIZA(1966 年)。在这一时期,人工智能发展迅猛,以至于研究者和产业界普遍认为人工智能代替人类只是时间问题。

然而,在 1974—1980 年,人工智能的瓶颈逐渐显现,逻辑证明器、感知器、增强学习只能完成指定的工作,对于超出范围的任务则无法应对,智能水平较为低级,局限性较为突出。造成这种局限的原因主要体现在两个方面:一是人工智能所基于的数学模型和数学手段被发现具有一定的缺陷;二是很多计算的复杂度呈指数级增长,依据现有算力无法完成计算任务。先天的缺陷使人工智能在早期发展过程中遇到瓶颈,研发机构的研究进展缓慢,投资界对人工智能

的热情逐渐降温,对人工智能的资助也相应被缩减或取消,人工智能第一次步入低谷。

2. 人工智能第二波浪潮

进入 20 世纪 80 年代后,人工智能再次回到了公众的视野中。与人工智能相关的数学模型取得了一系列重大发明成果,其中包括著名的多层神经网络(1986 年)和反向传播(Back Propagation, BP)算法(1986 年)等,这进一步催生了能与人类下象棋的高度智能机器(1989 年)。其他成果包括通过人工智能网络实现的能自动识别信封上邮政编码的机器,其精度可达 99% 以上,已经超过普通人的处理水平。

与此同时,卡内基梅隆大学为 DEC 公司制造出了专家系统(1980 年),这个专家系统可帮助 DEC 公司每年节约 4 000 万美元的费用,特别是在决策方面能提供有价值的内容。受此鼓励,很多国家包括日本、美国都再次投入巨资开发所谓的第 5 代计算机(1982 年),当时叫作“人工智能计算机”。

为推动人工智能的发展,研究者设计了 LISP 语言,并针对该语言研制了 LISP 计算机。该机型指令执行效率比通用型计算机更高,但价格昂贵且难以维护,始终难以大范围推广普及。与此同时,在 1987—1993 年间,苹果和 IBM 公司开始推广第一代台式计算机,随着性能的不断提升和销售价格的不断降低,这些个人计算机逐渐在消费市场上占据了优势,越来越多的计算机走入个人家庭,价格昂贵的 LISP 计算机由于古老陈旧且难以维护逐渐被市场淘汰,专家系统也逐渐淡出人们的视野,人工智能硬件市场出现明显萎缩。同时,政府经费开始下降,人工智能又一次步入低谷。

3. 人工智能第三波浪潮

进入 21 世纪后,以互联网为基础的各种新理论、新技术、新应用层出不穷,更可喜的是,这些应用都取得了良好的商业模式。人工智能在技术的推动和市场的拉动下进入良性发展大道,特别是一鸣惊人的阿尔法围棋(AlphaGo)、基于自然语言理解的语音交互、机器翻译、高精准确度的人脸识别、可上路的自动驾驶智能车、可作词作诗作曲的机器人等以前只能处于想象中的应用,而今都已渐为现实,使得人们对人工智能重新恢复了往日的信心。人们将本次人工智能称为新一代人工智能,本次人工智能成为引领人工智能持久发展的主动力。

2015 年 11 月, *Science* 杂志封面刊登了一篇重磅研究:人工智能终于能像人类一样学习,并通过了图灵测试。测试的对象是一个 AI 系统,研究者向它展示它未见过的书写系统(例如藏文)中的一个字符例子,并让它完成写出同样的字符、创造相似字符等任务。结果表明:这个系统能够迅速学会写陌生的文字,同时还能识别出非本质特征,也就是那些因书写造成的轻微变异,通过了图灵测试,这也同时回答了很多人对人工智能发展的疑虑。

当前,国际上将人工智能划分成 3 类:弱人工智能、强人工智能和超人工智能。弱人工智能就是利用现有智能化技术来改善我们经济社会发展所需要的一些技术条件和功能。强人工智能则指非常接近于人的智能,这需要脑科学的突破,国际上普遍认为这个阶段要到 2050 年前后才能实现。超人工智能是脑科学和类脑智能有极大发展后,人工智能就成为一个超强的智能系统。从技术发展的角度看,从脑科学突破角度发展人工智能,目前还有局限性,未来还有很大的发展空间。

1.2 新一代人工智能

随着物联网的普及、传感器的泛在化、云计算的支撑、大数据的涌现、电子商务的发展、信息社区的兴起,数据和知识在人类社会、物理空间和信息空间之间交叉融合、相互作用,人工智能发展所处的信息环境和数据基础发生了巨大而深刻的变化,人类社会与物理世界的二元结构正在进阶到人类社会、信息空间和物理世界的三元结构,人与人、机器与机器、人与机器的交流互动越加频繁。人工智能发展所处的信息环境和数据基础发生了深刻变化,越加海量化的数据、持续提升的运算力、不断优化的算法模型、结合多种场景的新应用已构成相对完整的闭环,成为推动新一代人工智能发展的四大要素。可以说,这一波的人工智能是最接近人类大脑活动的智能,因为它体现了人的自学习性和自成长性,而弱化了理论性、逻辑性。

人们通常把 2016 年以深度学习为代表的人工智能技术称为新一代人工智能。新一代人工智能技术具有深度学习、跨界融合、人机协同、群智开放和自主智能的特点。与此同时,人工智能的目标和理念出现重要调整,科学基础和实现载体取得新的突破,类脑计算、深度学习、强化学习等一系列技术的萌芽也预示着内在动力的成长,人工智能的发展已经进入一个新的阶段。算法、数据和计算能力(以下简称“算力”)构成了新一代人工智能的发展基石,如图 1-3 所示。

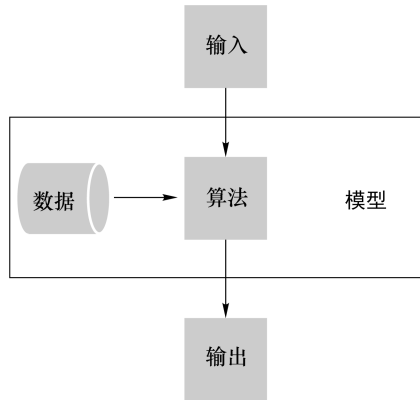


图 1-3 基于算法、数据和算力的人工智能模型

1. 基于大数据驱动的人工智能

近年来,得益于互联网、社交媒体、移动设备和无线传感的大量普及,全球产生并存储的数据量急剧增加,为通过深度学习方法来训练人工智能提供了良好的土壤。目前,全球数据总量每年都以指数级速度增长,截止到 2020 年已经超过 40 ZB(如图 1-4 所示),中国产生的数据量占全球数据总量的近 20%,并且数据的增长速度越来越快。海量的数据将为人工智能算法模型提供源源不断的素材和持续增长的动力引擎,人工智能正从监督学习向无监督学习演进升级,从各行业、各领域海量数据中积累经验、发现规律、持续提升并更加智慧。丰富的数据训练集为人工智能技术在更多产业中应用提供了可能。

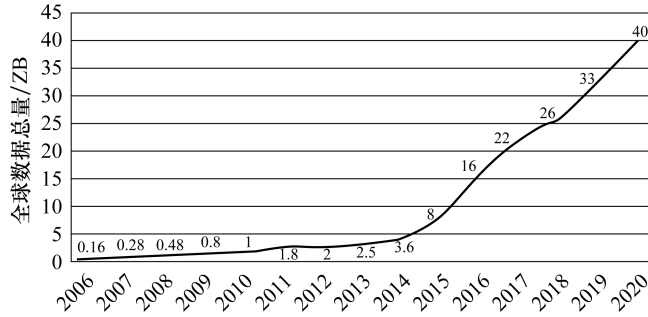


图 1-4 全球数据总量增长情况

2. 基于专用芯片的并行计算

当前,凡是人工智能的应用领域无一不是海量数据聚集的领域,传统的数据处理技术难以满足高强度、高频次、高复杂度的处理需求。人工智能芯片的出现加速了深层神经网络的训练迭代速度,让大规模的数据处理效率显著提升,极大地促进了人工智能行业的发展。2010年以后,随着 GPU 芯片的普及,计算机的运算能力迈入新阶段,出现了 GPU、TPU、NPU 和各种各样的 AI-PU 专用芯片。相比传统的 CPU 过于复杂的逻辑和中断等设计模型,NPU 等专用芯片多采用“数据驱动并行计算”的架构,特别擅长处理视频类、图像类的海量多媒体数据,在具有更高线性代数运算效率的同时,能产生比 CPU 更快的算力,具有更低的价格和更低的功耗。随着 FPGA 和 ASIC 芯片的发展,2020 年以后,计算机的运算能力又将迈入新的层级,将会出现基于类脑计算芯片、量子计算芯片以及专用定制芯片(ASICS)的计算机,每秒能进行百亿亿次的浮点运算,如图 1-5 所示。

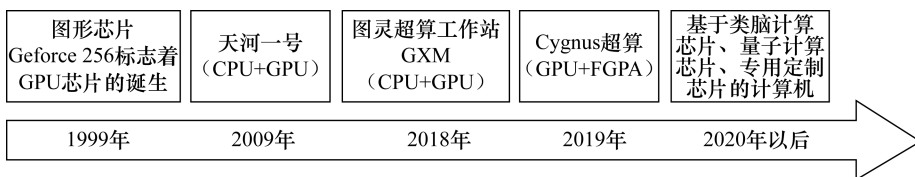


图 1-5 计算能力的提升与 GPU 的应用

3. 以深度学习为基础的智能算法

计算能力的提升和数据规模的增长,使得深度学习算法、强化学习算法发展起来。这些算法被广泛地应用到计算机视觉、语音识别、自然语言处理等领域并取得了丰硕的成果。技术适用的领域大大拓展,从而越来越多复杂和动态的场景的需求得到了满足。2006年,加拿大多伦多大学教授杰弗里·辛顿(Geoffrey Hinton)提出了深度学习的概念,极大地发展了人工神经网络算法,提高了机器自学习的能力,例如,谷歌大脑(Google brain)团队在 2012 年通过使用深度学习技术,成功地让计算机从视频中“认出”了猫。随着算法模型的重要性进一步凸显,全球科技巨头纷纷加大了这方面的布局力度和投入,通过成立实验室,开源算法框架,打造生态体系等方式推动算法模型的优化和创新。目前,深度学习等算法已经广泛应用在自然语言

处理、语音处理以及计算机视觉等领域,并在某些特定领域取得了突破性进展,从监督学习演化为半监督学习、无监督学习,图 1-6 所示为深度学习在语音识别文字方面的正确率成长曲线。

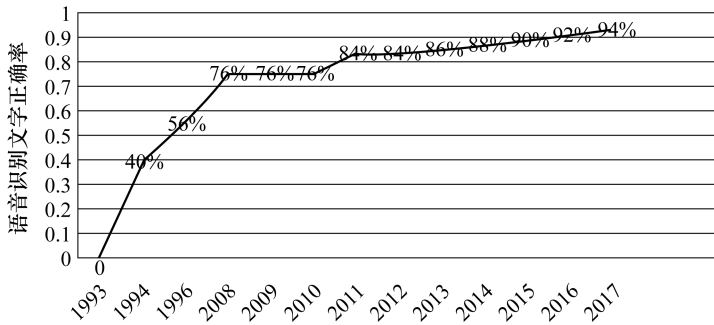


图 1-6 语音识别文字正确率成长曲线

4. 具有良好的商业驱动模式

当前,在技术突破和应用需求的双重驱动下,人工智能技术已走出实验室,加速向产业各个领域渗透,产业化水平大幅提升。在此过程中,资本作为产业发展的加速器发挥了重要的作用,一方面,跨国科技巨头以资本为杠杆,展开投资并购活动,得以不断完善产业链布局;另一方面,各类资本对初创型企业的支持使得优秀的技术型公司迅速脱颖而出。

目前,人工智能已在智能机器人、无人机、金融、医疗、安防、驾驶、搜索、教育等领域得到了较为广泛的应用。据智研咨询发布的《2018—2024 年中国人工智能行业市场深度调研及未来发展趋势报告》的数据显示,全球人工智能市场规模在 2015—2025 年将保持平均 50.7% 的复合增速,2015 年全球人工智能市场规模达到 1 684 亿元,2018 年达到了 2 697 亿元,复合增长率达到 17%。2020 年全球人工智能市场规模达到 6 800 亿元,形成千亿美元级别市场,如图 1-7 所示。

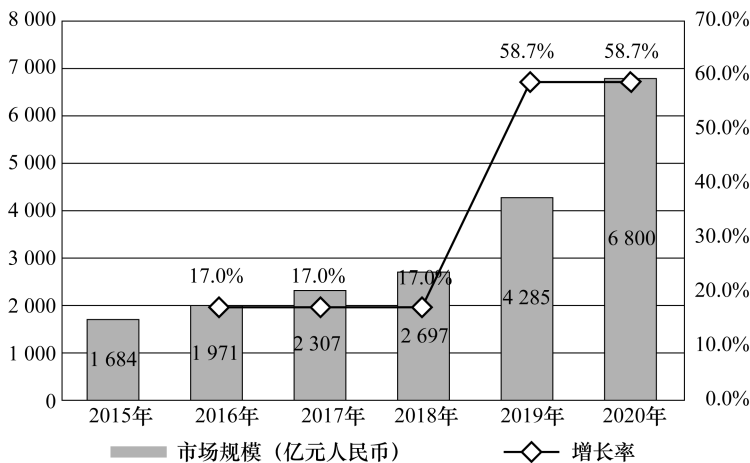


图 1-7 全球人工智能产业发展规模

1.3 深度学习

前面讲到,第三波人工智能热潮源于深度学习的复兴。那么到底什么是深度学习?为什么深度学习能让计算机一下子变得聪明起来?为什么深度学习相比其他机器学习技术,能够在机器视觉、语音识别、自然语言处理、机器翻译、数据挖掘、自动驾驶等方面取得较好的效果?下面从深度学习的起源、发展与爆发等方面来全面介绍深度学习的本质。

1.3.1 深度学习的起源

深度学习(Deep Learning, DL)起源于对神经网络(Neural Network, NN)的研究,神经网络是由大量的、简单的处理单元广泛地互相连接而形成的复杂网络系统,它反映了人脑功能的许多基本特征,是一个高度复杂的非线性动力学习系统。早在1943年,心理学家Warren McCulloch和数学逻辑学家Walter Pitts就在论文《神经活动中内在思想的逻辑演算》中提出了M-P(McCulloch-Pitts)模型。M-P模型是通过模仿神经元的结构和工作原理构造出的一个基于神经网络的数学模型,本质上是一种“模拟人类大脑”的神经元模型。M-P模型作为人工神经网络的起源,开创了人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)的新时代,也奠定了神经网络模型的基础。

1949年,加拿大著名心理学家唐纳德·赫布在《行为的组织》一文中提出了“一种基于无监督学习的规则——海布规则(Hebb Rule)”。海布规则通过模仿人类认知世界的过程建立一种“网络模型”,该网络模型针对训练集进行大量的训练并提取训练集的统计特征,然后按照样本的相似程度进行分类,把相互之间联系密切的样本分为一类,这样就把样本分成了若干类。海布规则与“条件反射”机理一致,为以后的神经网络学习算法奠定了基础,具有重大的历史意义。

20世纪50年代末,在M-P模型和海布规则的研究基础上,美国科学家罗森布拉特(Roseblatt)发现了一种类似于人类学习过程的学习算法——感知机学习,并于1958年正式提出了由两层神经元组成的神经网络,称为感知器(perceptor)。感知器本质上是一种线性模型,可以对输入的训练集数据进行二分类,而且能够在训练集中自动更新权值。感知器的提出吸引了大量科学家对人工神经网络进行研究,这对神经网络的发展具有里程碑式的意义。

但是,随着研究的深入,1969年,人工智能先驱马文·明斯基(Marvin Minsky)和LOGO语言的创始人西蒙·派珀特(Seymour Papert)共同编写了一本书籍——《感知器》(*Perceptron*),在书中,他们证明了单层感知器无法解决线性不可分问题,例如异或问题。由于这个致命的缺陷以及没有及时推广感知器到多层神经网络中,在20世纪70年代,人工神经网络进入了第一个寒冬期,人们对神经网络的研究也停滞了将近20年。

1.3.2 深度学习的发展

1982年,著名物理学家约翰·霍普菲尔德(John Hopfield)发明了Hopfield神经网络。Hopfield神经网络是一种结合存储系统和二元系统的循环神经网络。Hopfield神经网络也可以