

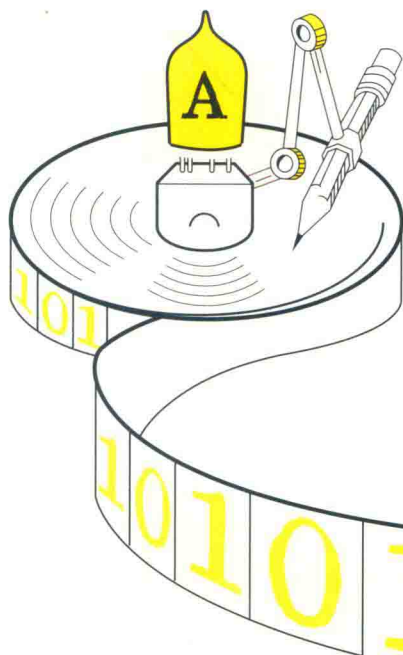


智慧的疆界

从图灵机到人工智能

周志明 著

T ——— H ——— E
B O U N D A R I E S
O ——— F
I N T E L L I G E N C E
FROM TURING MACHINE TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE



机械工业出版社
China Machine Press

智慧的疆界

从图灵机到人工智能

T ————— H ————— E
B O U N D A R I E S
O ————— F
I N T E L L I G E N C E
FROM TURING MACHINE TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE

周志明◎著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

智慧的疆界：从图灵机到人工智能 / 周志明著. —北京：机械工业出版社，2018.10

ISBN 978-7-111-61049-6

I. 智… II. 周… III. 人工智能 IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 222524 号

智慧的疆界：从图灵机到人工智能

出版发行：机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码：100037）

责任编辑：李 艺

印 刷：北京市兆成印刷有限责任公司

开 本：170mm×230mm 1/16

书 号：ISBN 978-7-111-61049-6

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：(010) 88379426 88361066

购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259

责任校对：

版 次：2018 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

印 张：26.75

定 价：69.00 元

投稿热线：(010) 88379604

读者信箱：hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问：北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东



你也许已经感受到了，人工智能这个概念被越来越频繁地提及，网上、书中五花八门的关于人工智能的音频、视频、文字是当前最容易抓住眼球的热点，人工智能从一个阳春白雪、深藏于专业实验室的学术名词，迅速转变为产品经理和市场营销人员的口头禅，还成为普通大众茶余饭后的谈资。现在，在大家的眼里，有了“人工智能”，掌握了“机器学习”或者“神经网络”的电子系统，仿佛就有了自己学习进化、独立思考解决问题的可能性，甚至有了超越人类的无限智慧与魔力。而大家提起拥有智能的机器，往往还怀有一种科幻小说式的神秘与敬畏，一边忍不住对未知的憧憬，想要从钥匙孔中窥探潘多拉盒子里面藏着怎样的秘密，一边又担心打开了这个盒子，会放出人类无法掌控的可怕力量。

你也许还没有注意到，人工智能带来的变化已在我们身边悄然出现。当你打开新闻，上面给你展示哪些文章，是由人工智能为你定制的，甚至就连文章的内容，也可能是由机器根据当前的搜索引擎、自媒体、网站的热点自动编写而成的。当你上网购物，打开首页看到的是你最有可能感兴趣、最有可能购买的商品，这是机器根据你最近上网的行为自动推荐的。当你打开邮箱时，系统已经为你过滤掉你不关心的广告和垃圾邮件，这些也是人工智能在背后工作的结果。今天这些智能化的成果已经深深融入人们的工作和生活之中，这些细节变化背后的技术进步，一点都不比机器能在棋盘上战胜人类冠军来得稍小。

无论你是否注意到了人工智能对我们生活潜移默化的改变，无论你对人工智能持有何种看法，是保守谨慎还是激进乐观，在说出你对人工智能的看法前，都不妨先花上几个小时时间，全面客观地观察一下这个学科，弄清“人工智能是什么？”“人工智能有什么？”这类最基础的问题，再去讨论和评价它的应用、预测它的未来发展走向。而向广大读者——尤其是这方面没有专业基础的读者解释清楚这些问题，便是本书写作的目的和意义所在。人工智能这门学科具体涉及内容，它的背景渊源、来龙去脉，在它六十余年发展历程中出现过的著名人物、重要历史事件，它的理论学说、走过的弯路、所取得的成果等，都是本书要一一讨论到的话题。

读者可以从讨论的过程中，体会到人工智能的缔造者和开拓者们是如何追寻“智能”的，以及相关理论、方法是如何运作的。希望无论是与人工智能产业相关的业内人士，还是这个领域的专业研究者，或是信息科学和计算机科学的爱好者们，都能从本书中得到一些启发。

智慧的疆界

之所以将本书定名为“智慧的疆界”，是因为这是全书的主旨。“智慧的疆界”是指何物？依笔者想来，应是以下三点。

1) 智慧的疆界应是指人类探寻智能奥秘过程中，“已知”与“未知”之间的界线。以代表计算能力的图灵机为起点，以掌握了意识和思维奥秘的终极智能为终点，在这条路上人类摸索前行，现在还不知道距离终点有多远，只是走得越久，知道得越多，看见的未知风景越多。这段探索奥秘的历程，当然值得我们去记录、学习。

2) 智慧的疆界应是指人工智能诞生与发展过程中，贡献毕生精力和智慧的开拓者们。从图灵、香农、冯·诺依曼、维纳，到纽厄尔、司马贺、麦卡锡、明斯基、皮茨、麦卡洛克，再到辛顿、燕乐存、奥本希、乔丹、尼尔森等，一位位天才学者不懈奋斗，为人类掌握“智能”这个科学的最终领域拓土开疆。这些学者的传奇故事，当然值得我们去记录、学习。

3) 智慧的疆界应是指“人类智能”与“人工智能”中间，那条迄今看来

仍无法逾越的鸿沟。模仿、学习并最终掌握人类得以拥有智能的本质原理，跨越这条鸿沟，得以用智慧制造出智慧是人工智能的最终目标，经过六十余年，甚至可以说是两三百年的探索，终于找到了一些可能可行的路径，总结了一些也许是正确的方法，做出了一点阶段性但足以改变世界的成果，也遇到过不少令人望而生畏的巨大困难和挫折。这些跨越这条鸿沟，实现人工智能终极目标的方法、理论、成功与失败，当然值得我们去记录、学习。

本书面向的读者

笔者希望最后写成的是一本人工智能领域的“入门”书。“入门”，不等同于简单，更不能等同于粗陋。对于人工智能这种涉及数学、信息、生物、心理和大量其他专业知识的交叉学科，要做到技艺精深必然是极难的，仅入门这一步，就面临着非常高的门槛，阻隔了许多慕名而来的兴趣爱好者，这是一件多么令人遗憾的事啊。如何把本书写得可供没有专业背景的读者作为入门读物，笔者在下笔之前确实深思良久，感到压力山大。

除了能够让读者易于“入门”，笔者希望能写出一本有温度的人工智能专业书籍。所谓“温度”，是相对于专业技术领域中一贯精密和严谨的形象而言的。任何一门技术的出现，都有它的背景，有它要解决的问题、未来要探索的未知方向和目标。我们学习专业技术时不应过于“势利”，不能只去学习技术和方法，而忽视了这些技术、方法是如何被发现的，在发现过程中前人有过怎样的思考和争议，犯过哪些错，走过哪些弯路。“势利”的学习方式，会使学习者所收获的理解不完整。研究人工智能同样如此，我们应该站在巨人的肩膀上看世界，如果连“智能”这样基础的概念都没有了解，不明白前人是如何思考、定义和判别的，一开始就从“深度学习”等当前最热门的几个人工智能分支入手，会很容易陷入管中窥豹的境地。

人工智能已是个热点话题，这个领域的书籍也已汗牛充栋。市场上发行的人工智能书籍基本上可以归结为两类：一类是回顾人工智能的历史，对人工智能的应用和发展做出商业、社会、经济等方面的分析与预测；另一类是对人工智能中某一个子领域的算法、工具，尤其是机器学习方面的算法和工具进行

解析。本书没有落在这两类之中，前面说过，本书是想讲清楚“人工智能这个学科具体有些什么”，这是一个很“入门”级，但又非常有必要认真探讨的话题。笔者希望本书能够作为人工智能学习的一个“大纲”，让读者了解这个学科的概貌，形成一个全面完整的印象，在学习工作中遇到人工智能某个分支的问题时，知道这是什么，然后再去找更进一步的参考资料。只要能够实现“让普通人只通读一本书便能全面客观地理解人工智能”这个目标，便是笔者最大的成功。

本书可能不适合的读者

对于写书，笔者落笔总是抱有敬畏之心，不希望读者在付出了数十元钱的同时，还浪费几个小时乃至更多的阅读时间才发现书中的内容并不适合自己。所以在这里笔者要介绍一下本书不适用的人群，后面会介绍主要的读者对象，以供读者购买时参考。

本书可能无法满足基于以下两类目的阅读的读者。

1) 阅读的目的是学习人工智能具体某一个分支的技术细节、工具使用、代码解析等的读者，如学习 Caffe、TensorFlow、Torch 等框架、工具的应用。本书会全面介绍人工智能的理论、技术和应用，力求说清楚它们“是什么”“解决哪些问题”“为什么要这样解决”。但是涉及“具体如何解决”的内容并不多，不足以令没有这方面基础的读者阅读之后直接应用于生产实践。这类读者可以根据自己感兴趣的技术和产品，从教科书或工具书入手学习和实践。

2) 阅读的目的是探讨人工智能领域前沿模型、算法、技术的读者。如果你已是一位在本领域有丰富经验的学者或从业人员，想要了解人工智能最新成果，笔者认为阅读本书，乃至“读书”都不是一个合适的方式。作为一位前沿的研究人员，读论文以及直接与人交流是更有效率的选择，囿于书籍出版的时滞性，读书更适合作为系统学习的途径而不是了解最前沿成果的途径。

本书的主要读者对象

1. 人工智能领域的产品经理、管理人员

本书可以作为整个人工智能领域的“大纲”，供产品经理或技术管理人员了解人工智能可以解决什么问题，解决这些问题需要用到什么技术，哪些问题现在解决是靠谱的，哪些是不靠谱的，以前在这些问题上碰过哪些钉子……

2. 需要使用智能软、硬件的研发人员

本书的初衷是向研发人员——有大量工程实践经验却缺乏足够数学知识去深入理解人工智能的人员，提供一种通过历史和前人的探索思路，而不是完全依赖专业知识去了解人工智能的途径。通过本书，研发人员可以用较为轻松的方式，达到对自己使用的人工智能工具、算法和技术知其然亦知其所以然的目的。

3. 信息科学和计算机科学爱好者

本书是一部讲述近代科技的历史书，也是一部科普书，还是一部讲述人工智能思想和技术的教科书。通过本书可以了解到前辈们在探索人工智能道路上所做出的努力和思考，理解他们不同的观点和思路，有助于开拓自己的思维和视野。

4. 人工智能相关专业的研究人员

人工智能经过六十多年的发展，已细分出了很多个研究方向，研究人员在关注自己领域的同时，可以通过本书对整个人工智能科学的发展历程、要解决的问题和前人思考有一个全盘了解，这对读者在自己研究的分支上进行深入探索也很有好处。

如何阅读本书

本书一共分为四个部分：以智慧创造智慧、学派争鸣、第三波高潮、人机共生。各个部分之间有时间上的先后顺序，前面章节是后续章节的基础，所以建议读者首次翻看本书时按照章节顺序阅读。各部分和章节的概要如下。

第一部分（第 1、2 章） 以智慧创造智慧

第一部分阐述了在人工智能这个学科正式创立之前的萌芽时期，图灵、香农等先驱们对智能是什么、机器能否拥有智能这些问题的探索和思考；并介绍了人工智能起源标志——达特茅斯会议的过程、成果以及日后被称为一代传奇学者的与会者们。

第 1 章 以“人工智能之父”图灵的生平事迹为主线，介绍了计算的基础图灵机，图灵测试，图灵对智能的思考、理解和定义。

第 2 章 以达特茅斯会议为主线，通过对该会议的召集、过程、成果、参与人物以及该会议的后续影响的介绍，阐述了人工智能这个学科诞生的历史背景，并讨论了该学科研究的目标和要解决的问题。

第二部分（第 3~5 章） 学派争鸣

目前，学术界研究人工智能的方法主要有三个学派，分别是符号主义、连接主义和行为主义，这三个学派分别从逻辑、仿生和行为三个角度来研究智能，既有自顶向下从智能的本质出发，从一般到特殊，通过逻辑运算推导智能行为；也有从行为出发，自底向上把智能当作黑箱看待，从行为推导智能的本质。这些学派在不同时期都曾是人工智能的主流，并各自取得了许多成果。

第 3 章 以纽厄尔、司马贺的研究工作为主线，介绍了符号主义的逻辑理论基础，解析符号主义学说的核心观点——物理符号系统和启发式搜索假说，并介绍了这个学派在知识表示、知识工程和知识系统上所取得的成就。

第 4 章 以“神经网络缔造者”皮茨和“感知机之父”罗森布拉特两位学者悲剧式的人生经历为主线，介绍了连接主义学派的核心思想，并介绍了神经网络的初期形式，为后续讲解深度学习和深度神经网络打下基础。

第 5 章 以“控制论之父”维纳的工作经历为主线，介绍了控制论创建的过程，以此介绍了行为主义研究的基本方法和观点，以及机械因果论等思想。

第三部分（第 6、7 章） 第三波高潮

人工智能迄今为止经历了三次高潮和两个大的低谷，目前处于第三次高潮的顶峰，这次高潮是由机器学习，尤其是深度学习、深度神经网络引领的。

第 6 章 本章是机器学习的导论，介绍了机器学习处理问题的一般方法。本章尽可能用最小的篇幅去说清楚“机器学习是什么”“它解决哪些问题”“它

通过哪些步骤来解决”，以及“如何验证评估它的解决的效果”这四个问题。

第7章 以“深度学习教父”辛顿的人生经历为主线，介绍了神经网络从低谷复兴的过程，以及深度学习的提出和技术突破；并介绍了几种典型的深度神经网络，以及这些新技术给学术界、工业界带来的变化。

第四部分（第8章） 人机共生

几十年来，人工智能无时无刻不伴随着争论和分歧，人工智能这个人类最复杂精密的创造物与人类本身的关系确实必须仔细思考、慎重对待，这部分我们将探讨人类和机器在追寻智能过程中得到的一些成果和产生的一些争论。

第8章 用十多个人工智能方面的实际案例来尝试回答几个问题：经过六十多年的发展，当下的人工智能到底发展到什么程度了？现在距离我们设想的目标还有多远？人工智能会对我们有什么影响？现在以及未来应该如何与人工智能相处？

联系作者

在本书交稿的时候，笔者并没有想象中那样兴奋或放松，写作之时那种“战战兢兢、如履薄冰”的感觉依然萦绕在心头。在每一章、每一节落笔之时，笔者都在考虑如何才能把各个知识点更有条理地讲述出来，都在担心会不会由于自己理解有偏差而误导了大家。囿于笔者的写作水平和写作时间，书中难免存在不妥之处，所以特地开辟了一个读者邮箱（understandingjvm@gmail.com），也可以通过新浪微博找到（<https://weibo.com/icyfenix>），大家如有任何意见或建议都欢迎与笔者联系。相信写书与做学问、写程序一样，每个作品一定都是不完美的，正因为不完美，我们才有不断追求完美的动力。

• Acknowledgements •

致谢

首先要感谢家人，是他们在本书写作期间对笔者的悉心照顾，才让笔者能够全身心地投入到写作之中，而无后顾之忧。

同时要感谢笔者的工作单位远光软件，公司为笔者提供了宝贵的工作、学习和实践的环境，本书中的许多知识点都来自于工作之中；也感谢与笔者一起工作的同事们，非常荣幸能与你们一起在这个富有激情的团队中共同奋斗。

还要感谢澳门科技大学的梁勇教授和张渡院长，在本书写作过程中给予的诸多指导及宝贵意见。

最后，感谢机械工业出版社华章公司的编辑，本书能够顺利出版，离不开他们的敬业精神和一丝不苟的工作态度。

周志明

前言

致谢

第一部分 以智慧创造智慧

第 1 章 洪荒年代 / 2

- 1.1 概述 / 2
- 1.2 引言：信息革命 / 3
- 1.3 图灵机，计算的基石 / 5
- 1.4 人工智能的萌芽 / 10
- 1.5 图灵测试：何谓智能？ / 12
- 1.6 智能与人类的界限 / 16
- 1.7 机器能思考吗？ / 17
- 1.8 机器拟人心 / 21
- 1.9 机器拟人脑 / 24
- 1.10 机器拟人身 / 27
- 1.11 本章小结 / 28

第 2 章 迈向人工智能 / 30

- 2.1 概述 / 30

- 2.2 引言：不经意间改变世界 / 31
- 2.3 达特茅斯会议 / 35
- 2.4 有学术就有江湖 / 41
- 2.5 有江湖就有传奇 / 48
- 2.6 人工智能早期成果 / 54
- 2.7 本章小结 / 63

第二部分 学派争鸣

第3章 符号主义学派 / 66

- 3.1 概述 / 66
- 3.2 引言：五分钟逻辑学 / 68
- 3.3 描述已知，推理未知 / 73
- 3.4 知识！知识！知识！ / 87
- 3.5 从演绎到归纳 / 96
- 3.6 符号主义的现状和未来 / 101
- 3.7 本章小结 / 103

第4章 连接主义学派 / 105

- 4.1 概述 / 105
- 4.2 引言：命运 / 106
- 4.3 大脑模型 / 108
- 4.4 崛起的明星 / 114
- 4.5 陨落的流星 / 118
- 4.6 感知机 / 121
- 4.7 凛冬将至 / 129
- 4.8 人工智能的繁荣与寒冬 / 137
- 4.9 本章小结 / 141

第5章 行为主义学派 / 143

- 5.1 概述 / 143
- 5.2 引言：昔日神童 / 145
- 5.3 自动机对抗自动机 / 147
- 5.4 从“控制论”说起 / 151
- 5.5 机械因果观和行为主义 / 154
- 5.6 自复制机和进化主义 / 157
- 5.7 机器人学 / 161
- 5.8 本章小结 / 170

第三部分 第三波高潮

第6章 机器学习概览 / 172

- 6.1 概述 / 172
- 6.2 什么是机器学习 / 174
- 6.3 机器学习的意义 / 177
- 6.4 机器学习解决的问题 / 179
- 6.5 进行机器学习：实战模型训练 / 185
- 6.6 评估验证 / 233
- 6.7 本章小结 / 242

第7章 深度学习时代 / 244

- 7.1 概述 / 244
- 7.2 引言：深度学习教父 / 245
- 7.3 逆反之心 / 247
- 7.4 复兴之路 / 249
- 7.5 深度学习时代 / 263
- 7.6 深度神经网络 / 290
- 7.7 从实验室到企业 / 309

7.8 挑战与反思 / 317

7.9 本章小结 / 322

第四部分 人机共生

第8章 与机器共生 / 326

8.1 概述 / 326

8.2 引言：天才还是白痴 / 327

8.3 与机器竞技 / 329

8.4 与机器共舞 / 360

8.5 本章小结 / 368

附录 人工智能历史大事记 / 370

· Part 1 ·

第一部分

以智慧创造智慧

·Chapter·

第 1 章

洪荒年代

We can only see a short distance ahead, but we can see plenty there that needs to be done.

目光所及之处，只是不远的前方，即使如此，依然可以看到那里有许多值得去完成的工作在等待我们。

——阿兰·图灵 (Alan Turing), 《计算机器和智能》, 1950 年

1.1 概述

“人工智能”作为一个专业名词，是在 1956 年首次出现的，但是人类对人造机械智能的想象与思考却是源远流长。在古代的神话传说中，技艺高超的工匠可以制作人造人，并赋予其智能或意识，如希腊神话中出现了赫淮斯托斯的黄金机器人和皮格马利翁的伽拉忒亚这样的机械人和人造人；根据列子辑注的《列子·汤问》记载，中国西周时期也已经出现了偃师造人的故事。

人类对人工智能的凭空幻想阶段一直持续到了 20 世纪 40 年代。由于第二次世界大战交战各国对计算能力、通信能力在军事应用上迫切的需求，使得这些领域的研究成为人类科学的主要发展方向。信息科学的出现