

# 人工智能算法图解

[南非] 里沙尔·赫班斯(Rishal Hurbans) 著

王晓雷 陈巍卿 译

清华大学出版社

北 京

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2021-6181

Rishal Hurbans

Grokking Artificial Intelligence Algorithms

EISBN: 978-1-61729-618-5

Original English language edition published by Manning Publications, USA© 2020 by Manning Publications. Simplified Chinese-language edition copyright© 2021 by Tsinghua University Press Limited. All rights reserved.

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

#### 图书在版编目(CIP)数据

人工智能算法图解 / (南非)里沙尔·赫班斯(Rishal Hurbans)著；王晓雷，陈巍卿译. —北京：清华大学出版社，2021.12

书名原文：Grokking Artificial Intelligence Algorithms

ISBN 978-7-302-59423-9

I. ①人… II. ①里… ②王… ③陈… III. ①人工智能—算法—图解 IV. ①TP18-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 222544 号

责任编辑：王 军

封面设计：孔祥峰

版式设计：思创景

责任校对：成凤进

责任印制：曹婉颖

出版发行：清华大学出版社

网 址：http://www.tup.com.cn, http://www.wqbook.com

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：小森印刷霸州有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：170mm×240mm 印 张：20 字 数：392 千字

版 次：2021 年 12 月第 1 版 印 次：2021 年 12 月第 1 次印刷

定 价：88.00 元

---

产品编号：089956-01

# 《人工智能算法图解》知识地图

## 人工智能初印象

人工智能算法通过处理数据来解决复杂的问题。不同算法适用于不同类型的问题。我们也可将不同算法组合在一起来解决更为复杂的问题

## 搜索算法基础

无知搜索算法通过遍历可行路径来找到最优解，这可能会耗费大量的计算资源。这种搜索算法所使用的数据结构为其他智能算法奠定了坚实的基础

## 智能搜索

知情搜索算法利用启发式将搜索引向表现更佳解决方案，这一算法可用于解决存在博弈双方的对抗性问题

## 群体智能：蚁群优化

受到现实世界中蚂蚁种群觅食行为的启发，蚁群优化算法在探索新路径的同时会记住曾经探索过的更优路径

## 群体智能：粒子群优化

受到现实世界中鸟群迁徙行为的启发，粒子群优化算法在深入探索局部解空间的同时会对种群中其他个体发现的理想解保持关注

## 人工神经网络

人工神经网络是模拟人类大脑与神经系统工作模式的一种智能算法。神经元收集信号并对信号加以评测和处理，并根据在输入信号中发现的关联产生输出

## 进化算法

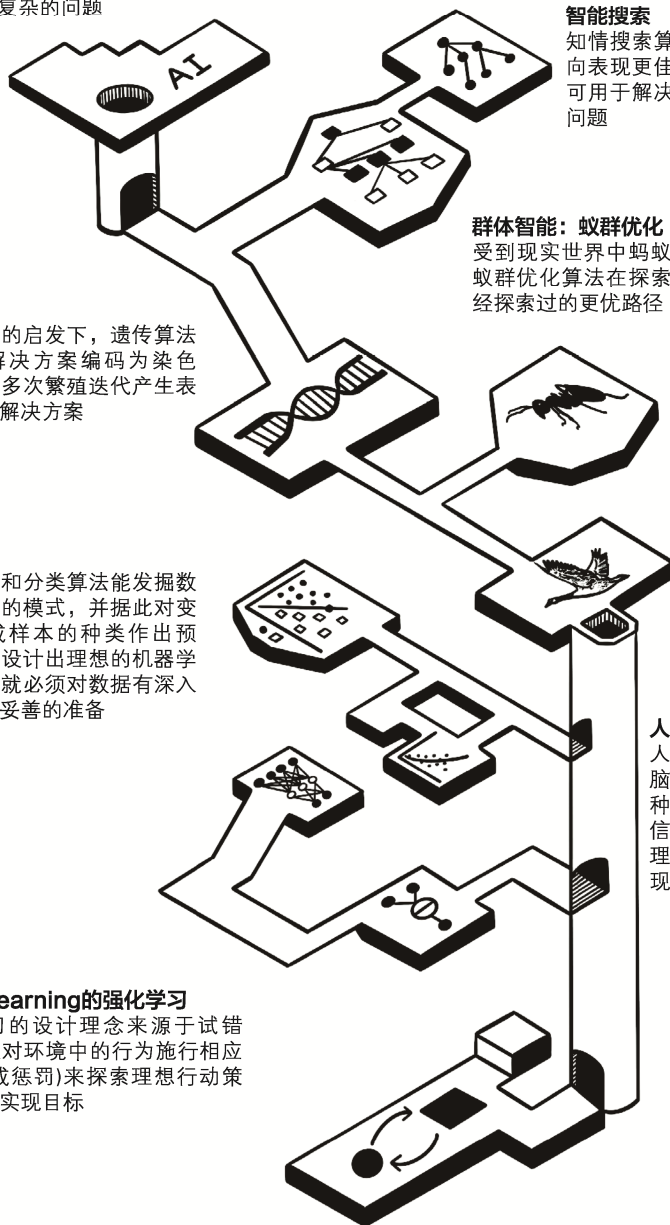
在进化论的启发下，遗传算法将潜在解决方案编码为染色体，通过多次繁殖迭代产生表现更佳的解决方案

## 机器学习

回归算法和分类算法能发掘数据中存在的模式，并据此对变量的值或样本的种类作出预测。如想设计出理想的机器学习模型，就必须对数据有深入的理解与妥善的准备

## 基于Q-learning的强化学习

强化学习的设计理念来源于试错法，通过对环境中的行为施行相应的奖励(或惩罚)来探索理想行动策略，从而实现目标



# 人工智能算法适用场景

## 深度优先搜索

如果某一场景的解决方案以树的形式存在，而且这棵用于遍历搜索空间的树比较深(层级较多)，那么深度优先搜索将更加高效。注意，深度优先搜索算法往往要求遍历解决方案树的行为在计算上可行。

## 广度优先搜索

如果某一场景的解决方案以树的形式存在，而且这棵用于遍历搜索空间的树比较宽(单层选择较多)，那么广度优先搜索将更加高效。注意，广度优先搜索算法往往也要求遍历解决方案树的行为在计算上可行。

## A\*搜索

A\*搜索适用于能设计启发式来引导搜索方向并优化求解过程的问题。

## 最小-最大搜索

最小-最大搜索适用于对抗性问题——问题中存在多个相互竞争的智能体，且每个智能体都希望找到对自己最有利的解。

## 遗传算法

如果在某一问题场景中，潜在的解决方案能被编码为染色体，而且你能设计适应度函数来评估不同解决方案的表现，那么遗传算法将非常高效。

## 蚁群优化算法

蚁群优化算法适用于需要执行一系列步骤(或作出一系列选择)来完成给定任务的问题场景。通常情况下，蚁群优化算法会收敛到某个理想可行解，而非最优解。

## 粒子群优化算法

粒子群优化算法适用于具有多维搜索空间的复杂问题。通常情况下，粒子群优化算法也会收敛到某个理想可行解，而非最优解。

## 线性回归

线性回归适用于需要根据某一数据集中的两个或多个特征之间的关系进行预测的问题。

## 决策树

决策树适用于需要根据某一数据集中样例的特征对样例进行分类的场景。注意，决策树算法往往要求样例特征与其分类标签直接相关。

## 人工神经网络

人工神经网络适用于处理非结构化的数据集，尤其适用于需要挖掘数据(属性)之间深层关系的问题。

## Q-learning

给定环境条件，Q-learning将利用试错法(而非历史数据)不断迭代，寻找能使环境中的智能体完成任务的解决方案。



# 译者序

作为 *Grokking Deep Learning*<sup>1</sup> 的译者,当清华大学出版社编辑诚邀我来翻译这本有关人工智能的图书时,对于要不要接手,我其实犹豫了良久——虽然深度学习如此火爆,但这本注重于传统人工智能算法的图书是否也能得到读者的青睐?它能给读者带来足够的价值吗?

由此,本序尝试给出传统智能算法与深度学习的关系,比较两者所擅长解决的问题,并介绍本书的基础内容及其面向的读者群体,希望能帮助你发现最适合自己(任务)的智能实践。

## 人工智能、深度学习与机器学习的关系

自 2012 年 AlexNet 在世界级图像识别大赛(ImageNet)一骑绝尘以来,深度学习几乎成了人工智能的代名词。不过若从更高处看,深度学习只是人工智能浪潮中的一朵小浪花,是机器学习的一个真子集。图 1 给出了人工智能、深度学习与机器学习的关系,斜线部分为本书重点(为简化描述,本序中以“传统算法”代指这部分属于机器学习但并非深度学习的算法)。当然,人工智能领域的基础概念与深度学习相关方法在本书中也有提及。

广义来说,机器帮助人类所完成的一切,都属于人工智能。也许你还记得 20 世纪初那些自动化系统中动辄上万条的规则,那是人工智能的萌芽时期:专家系统<sup>2</sup>。能从数据中自动抽取这些规则的方法,被称为机器学习。从逻辑回归到决策树,一路走到今天的特征工程与模式识别——用多层神经网络(也就是深度学习)所完成的那些工作,仍然逃不脱“找到数据中的规律”这一框架。

---

1 该书由清华大学出版社引进并已出版,中文书名为《深度学习图解》。

2 它属于人工智能,但并非机器学习。

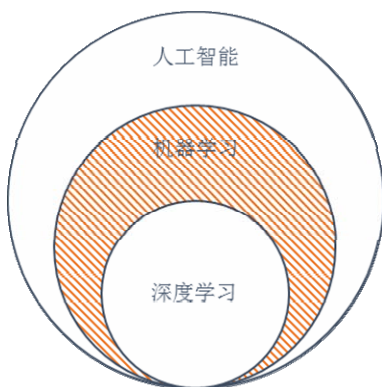


图1 人工智能、深度学习与机器学习的关系

虽然大多数深度学习教程都主要关注其结构(无论是网络结构还是算子结构),但实际上,深度学习表现优异的关键离不开优化方法。深度模型的调参真的是“炼金术”吗?网络是如何收敛到最佳表现的?对传统算法的掌握有助于你理解深度学习的工作原理,为算法调优(针对深度模型选择更好的参数/超参数)夯实基础。在一定程度上,深度图神经网络、生成式对抗模型等也都属于融合了深度学习与传统算法的创新实践。

## 传统算法所适用的问题

人工智能三要素:数据、算法和算力。

首先是数据。深度学习的发展与21世纪的大数据崛起密不可分。以ImageNet为首的数千万张有标记的图片将深度学习推上王座:动辄几十上百层的模型提供了大量的权重参数,高复杂度与大数据量共同带来了远超传统机器学习算法的精度。然而,对于较小的数据集(譬如本书中的案例),深度模型的高复杂度却可能会成为负担<sup>1</sup>。此时,传统算法反而能获得更好的效果。

其次是算法。在实践中,我们常常会碰到这样的情况:相比于获得精准的结果,专业人员更关心这个结果是怎么来的。譬如,市场部门想要知道在给定的内外部环境下,某个营销策略会对实际销量带来怎样的影响(受市场条件限制,有效数据量往往相当有限)。此时,能明确展示拟合系数和响应之间关系的线性模型就会成为我们的首选。包括医疗、勘探、金融在内的大量垂直领域都要求算法具备高可解释性,以结合人类专家意见作出决策。在这一方面,相比于“黑盒”深度模型,传统算法显然更胜一筹。

<sup>1</sup> 即出现过拟合现象。

最后是算力。大模型加上大数据当然离不开大算力。一张高端深度学习训练卡价格高达数万元，在谷歌最新发表的自动架构搜索(AutoML)论文中，一场实验需要让 800 张卡跑上几个星期：不谈买机器的钱，单电费就足以烧掉一辆宝马的价钱。即使这确实能够带来几个百分点的精度提升，但如此大的消耗对于只想解决日常工作中的小问题的你我来说实在昂贵。为什么不先尝试一下传统算法呢？用自己的笔记本电脑就能得到一个初步可用的基线结果。在此基础上，再结合深度学习或其他复杂模型来进一步提升精度。

对于需要实时响应的低成本任务来说，传统算法不失为一种好的选择。对于具备大量数据的复杂任务而言，不妨借助深度模型来获得更高的精度。知己知彼，因地制宜，取二者所长，才能得到最适合你的解决方案。

## 关于本书

读到这里，相信你已经初步了解了为什么需要掌握机器学习。

本书面向的读者群体为非数学/计算机相关专业的程序员们<sup>1</sup>，以及正在做毕业设计，迫切需要智能方法协助的普通学生们。不需要科班出身，无需线性代数或统计学基础知识，只需要掌握任何一门编程语言(不管是 C、Java、Python，还是 PHP)，你就能通过本书在两周之内亲自将人工智能算法嵌入手头项目。

本书重点涵盖的算法簇包括搜索算法、进化算法与群体智能算法。每簇算法由浅入深分上下两章，上章基础篇围绕各种实际案例阐述算法设计理念，下章高级篇则带读者思考如何打造更理想的解决方案。同时，本书以典型机器学习工作流为例，讲解线性回归、决策树、神经网络与强化学习等常见算法类别。读完本书，你将能掌握清洗数据、训练模型、测试模型、调优算法等整个学习流程中的关键技巧——正所谓万变不离其宗，这将为你以后进一步探索智能世界打下坚实基础。

承接“图解”系列的一贯作风，本书中不会出现任何复杂的公式，取而代之的是各种实战图例。只需要具备高中数学水平和基础编程知识，你就可顺利解决书中提及的从智能对弈到停车场寻路的各种案例。更棒的是，算法核心代码往往相对独立地运作，不会像真正意义上的工程代码那样复杂，百十行就能轻松解决集装箱自动化配货之类的问题(书中所有样例代码均在 Github 上免费开源)。触手可得的智能解决方案，为什么不试试看呢？

王晓雷

2021.6.1

---

1 向专业选手推荐周志华老师的《机器学习》(西瓜书)。



# 序 言

本序言旨在描述技术的迭代发展，阐述人们对自动化的需求，并讨论使用人工智能构建未来时，我们基于公序良德进行决策的责任。

## 人类对技术与自动化的痴迷

纵观历史，我们一直渴望在减少人工(尤其是体力劳动)的同时解决问题。为了节约能源和增强生存能力，我们努力开发各种工具，并推行任务的自动化。有些人可能认为人类区别于其他生物的关键在于美丽的心灵。通过创造性地解决问题，或设计充满灵性的文学、音乐和艺术作品，人类得以不停创新并追求美好；但本书的写作初衷并非讨论与人性有关的哲学问题。本书概括性地描述各种人工智能(AI)方法，这些方法可用于解决现实世界的问题。我们解决这些难题是为了让生活更轻松、更安全、更健康、更充实、更愉快。纵观整个历史，放眼世界，我们看到的所有进步，包括人工智能在内，都旨在满足个人、社区和国家的需求。

以史为镜，可以知兴替；以人为镜，可以明得失。为了更好地塑造未来，我们必须了解过去的一些关键里程碑。在历史的变革中，人类的创新改变了我们的生活方式，塑造了我们与世界互动的方式，甚至重构了我们认知世界的方式。在对自己使用的工具进行迭代和改进的同时，我们实际上逐步奠定了未来的可能性(见图 0.1)。

这一段关于历史和哲学的高屋建瓴的描述，纯粹是为了帮助你建立对技术迭代和智能发展的基本理解，并希望启发你的思考，使你在开展属于自己的项目时，能够懂得什么才是负责任的决策。

对于图 0.1，需要注意的是，我们对近代技术史上的里程碑进行了高度压缩。在过去 30 年里，成效最显著的发展包括计算芯片的进步、个人计算机的广泛应用、网络设备的繁荣，以及打破了物理世界和数字世界的边界的工业数字化进程。人工智能之所以能成为一个技术可行且未来可期的技术领域，还有以下几方面的原因：



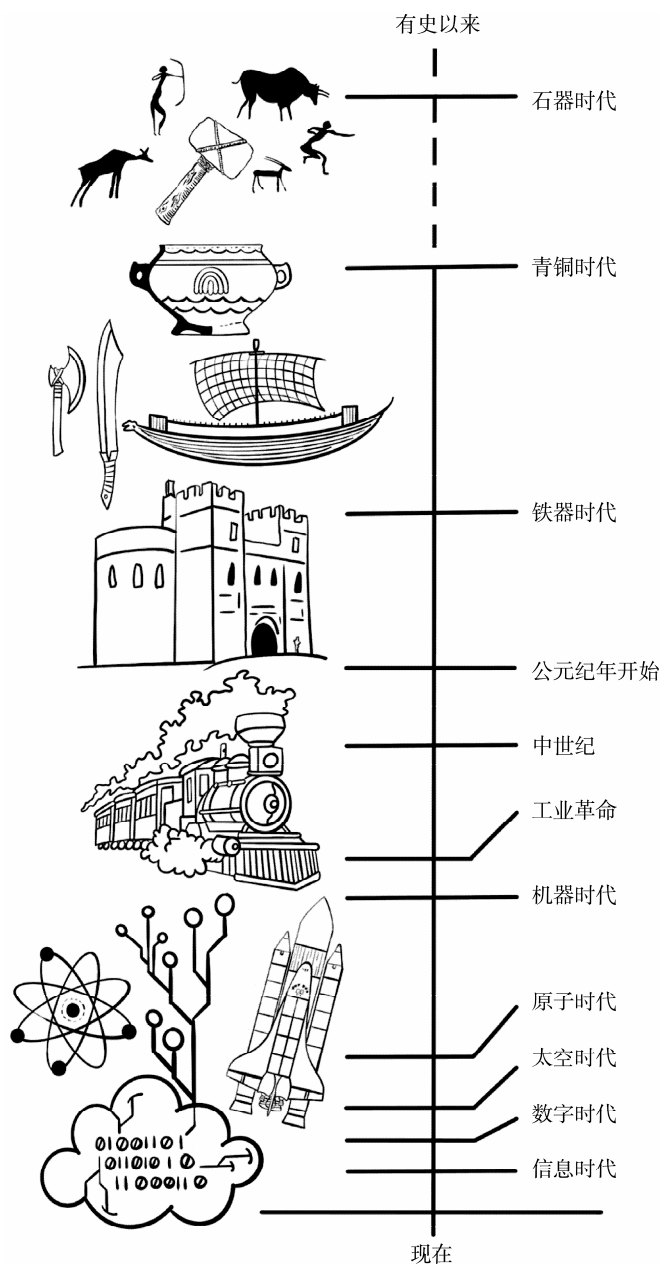


图 0.1 历史上技术进步的关键里程碑

- 互联网连接了世界，使我们几乎能收集关于所有事物的海量数据。
- 计算硬件的进步使我们能利用以前已知的算法处理所收集的大量数据，同时对新算法进行探索。

- 业界已经认识到有必要利用数据和算法作出更好的决策，解决更难的问题，提供更好的解决方案，并提高我们的生活质量——这也是人类自诞生以来所努力的方向。

虽然人们倾向于认为技术进步是线性的，但通过研究历史，我们发现技术的进步更可能是指数级的——并且未来技术也将以爆炸式的速度发展(见图 0.2)。随着时间的推移，技术进步将会越来越快。新的工具和技术需要我们学习，但解决问题的基础理念是相通的。

本书旨在帮助读者掌握那些可解决困难问题的基础概念，同时，让读者更轻松地掌握未来可能遇到的那些更复杂的概念。

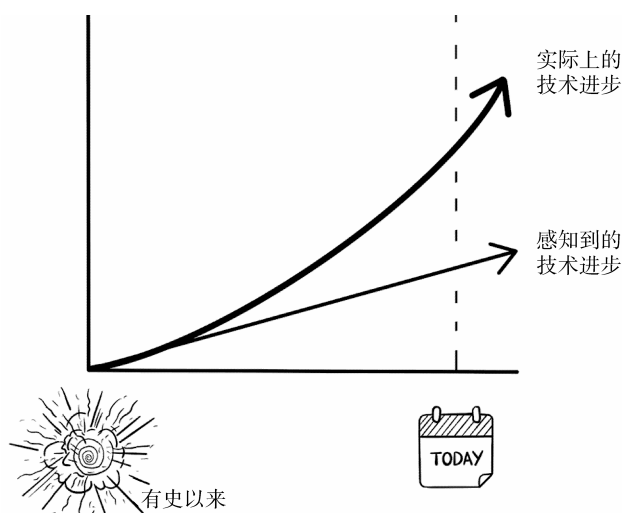


图 0.2 人类感知到的技术进步与实际进步速度的对比

不同的人对自动化有不同的理解。对技术人员来说，自动化可能意味着编写相应的脚本，使软件开发、部署和发布无缝衔接且不容易出错。对工程师来说，这可能意味着优化生产线，以增加产能或提升优良率。对农民来说，这可能意味着通过自动播种与灌溉系统之类的现代化农业技术来减少工作量并提升作物产量。自动化技术可减少人力投入，提高生产效率，而且其产值能力远胜于人力，因此是更优的解决方案(见图 0.3)。

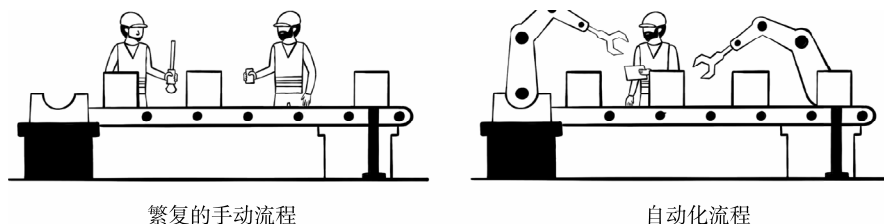


图 0.3 手动流程与自动流程的对比

如果我们进一步思考为什么仍有大量场景尚未进行自动化，会发现其中一个直接而明确的原因就是人类可更好地完成某些任务——失败的可能性更低，准确率更高；当任务场景需要你从各个角度对给定情况进行直觉判断，或要求你具有抽象的创造性思维，或者需要你与其他人进行互动——这些任务需要你对人性有所了解，因此很难自动化。

护士并非简单地完成任务，而是与病人产生联系，并照顾病人。研究表明，带有关怀情感的人与人之间的互动是治愈过程中的一项重要因素。教师的工作也并非简单地罗列知识点，而是根据学生的能力、个性和兴趣，找到创造性的方法来展示知识并对学生加以引导。也就是说，目前既有适合通过技术实现自动化的场景，也存在着更适合人类工作的场景。今天，科技创新层出不穷，各行各业都将从技术所带来的自动化浪潮中获益。

## 道德、法律问题，以及我们的责任

你可能想知道为什么一本技术书籍中会出现关于道德和责任的章节。要知道，随着我们的生活方式逐渐与日新月异的技术交织在一起，创造技术的人拥有的力量比他们所知道的要多得多。我们甚至不需要付出很多努力，就可能产生巨大的连锁效应。重要的是不忘初心——我们的意图是善意的，我们的工作成果不会带来什么负面影响(见图 0.4)。

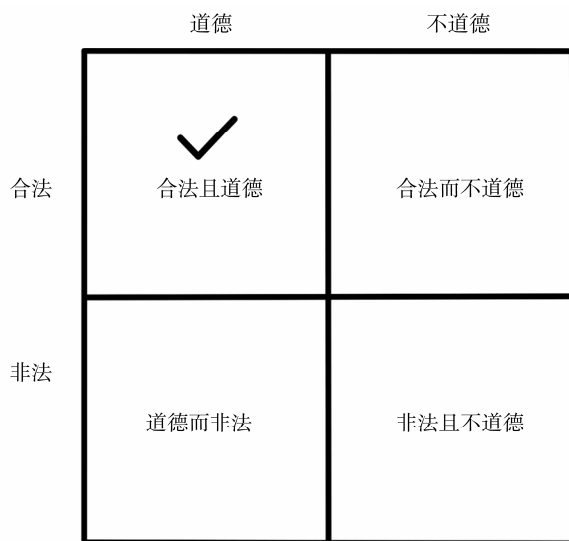


图 0.4 技术实践必须符合道德与法律规范

## 意图和影响：了解你的愿景与目标

你开发任何东西(比如一种新的产品、服务或软件)时都免不了思考它背后的意图。你是在开发一款为世界带来积极影响的软件吗？它会不会为人类带来麻烦？你有没有在更高层次上想过手头正在开发的东西可能带来的影响？企业总是想方设法获取更多的利益，使自己变得更强大——这也是发展企业的关键。企业设计自己的战略，以确定怎么才能更好地击败竞争对手、赢得更多客户以及变得更有影响力。尽管如此，企业仍需要扪心自问：自己的意图是否纯粹？这不仅事关企业的生存，还涉及其客户的利益，甚至是整个社会的利益。许多著名的科学家、工程师和技术专家都表示需要对人工智能的使用加以管控，以防止此项技术被滥用。作为个体，我们也有道德义务做正确的事情，从另一个角度看，我们需要建立一套强大的核心价值观。当被要求做违背原则的事情时，你必须能够阐明技术道德规范并以此为据拒绝这样的要求。

## 非预期使用：防止恶意使用

我们必须识别并防止技术的滥用。尽管这似乎是一件顺理成章的事情，而且看上去也不难做到，但你往往很难想象人们将如何使用你所创造的东西，更难预测他人的使用方式是否符合你的价值观——或者所属组织的价值观。

扬声器就是一个例子，它由 Peter Jensen<sup>1</sup>在 1915 年发明。扬声器原先被称为 Magnavox<sup>2</sup>(读作麦格纳沃斯)，最初是用来向旧金山的人群播放歌剧音乐的，这是一种对技术的善意使用。然而，德国的纳粹分子却有其他想法：他们在公共场所放置大量扬声器，使每个人都可听到希特勒的演讲和公告。因为这种广播是不可避免的，人们也就在潜移默化中逐渐受到了希特勒思想的影响。这并非 Jensen 发明扬声器的初衷，但他对此无能为力。

时代变了，现在我们对自己所创造的东西(尤其是软件)有了更多的控制权。虽然如此，但几乎可以肯定的是，有人会以你意想不到的方式使用你的心血结晶，并带来积极或消极的后果——我们仍然很难想象自己构建的技术可能会被如何使

---

<sup>1</sup> Peter Jensen 于 1886 年出生于丹麦，最早在丹麦工程师 Valdemar Poulsen 的实验室中做学徒。1909 年，Poulsen 将 Jensen 派到美国，要求他协助成立 Poulsen 无线电话和电报公司。在美国期间，Jensen 完成了 Poulsen 无线电发射机的相关实验。他带领团队对设备进行了改装：将更厚的电线连接到膜片上，并在磁体之间安装了铜丝线圈，并加装了一个鹅颈状喇叭，设计出了扬声器。

<sup>2</sup> Magnavox 即拉丁语“大嗓门”。

用。鉴于这一事实，无论是专业人士，还是公司或组织，都必须尽力防止技术的恶意使用。

## 无意识偏见：为每个人构建解决方案

在构建人工智能系统时，我们会把自己对情境和领域的理解融入其中。我们选择合适的算法来发现数据中的模式，并对其采取行动。不可否认，我们的周围充斥着各种各样的偏见。这里的偏见意为对某一个人或某一类人的固有印象——包括但不限于其性别、种族和信仰。其中相当一部分偏见源自社会互动中的应激行为、历史事件以及世界各地的文化和政治观点。这些偏见将影响我们收集到的数据。因为人工智能算法需要使用这些数据，所以模型不可避免地会“学习”这些偏见。从技术角度看，我们不应谴责忠实执行指令进行学习的系统；但人类终究要与这些系统进行互动，因此从公序良俗的角度看，开发者有责任尽可能减少系统对个体所产生的偏见。对于算法来说，只有好的数据才能让它产生好的模型，因此，如要帮助系统克服偏见，首先应理解数据以及问题的上下文。对数据和问题的深刻理解将帮助你建立更好的解决方案——因为你会更加了解问题空间。与此同时，提供尽可能不存在偏见的数据，你将获得更理想的解决方案。

## 法律、隐私和准许：捍卫核心价值观

我们必须保证自己的工作符合法律法规。为了整个社会的进步与稳定，法律规定了我们可以做什么和不可做什么。由于大部分法律条款是在计算机和互联网尚未发展起来的时候制定的，在技术的开发和应用方面存在着大量缺乏管控的灰色地带。也就是说，相比于飞速迭代创新的技术，相关法律法规的更新过于缓慢。

例如，我们几乎每天(甚至每时每刻)都在与电脑、手机和其他设备互动，这些系统在某种程度上损害着我们的隐私。通过这些互动，我们泄露了关于自己的大量信息，其中一部分是我们不希望他人知道的。这些系统将以何种方式处理和存储我们产生的数据？在制定解决方案时，开发人员应将相关事实纳入考虑范围。人们理应有权选择与自己相关的数据的收集、处理和存储方式，并决定系统应如何使用这些数据，以及谁有权访问这些数据。根据我的经验，人们通常愿意让系统使用他们的数据来改进产品和用户体验，从而为其带来更加便利的生活。最重要的是，当人们有权选择并且这种选择受到尊重时，他们会更乐于接受。

## 奇点：探索未知

这里的奇点<sup>1</sup>指的是这样一种想法：我们所创建的人工智能系统有着极高的智能程度，以至于它能自行进化，逐步将其智能发展为超级智能。令人担忧的是，这种程度的智能将超出人类的理解范围，我们甚至无法理解它将如何改变我们所知的文明。有人担心，这种智能可能会把人类视为威胁；也有人提出，人类之于超级智能就像蚂蚁之于人类。我们并不会把注意力放在蚂蚁身上，也不关心它们如何生活，但如果我们被它们激怒了，我们可能会轻松消灭它们。

无论这些假设是否准确地反映了未来，我们在作出决定时都必须审慎思考，并为自己的决策负责——因为它们最终会影响一个人、一群人甚至整个世界。

---

<sup>1</sup> 最先将“奇点”引入人工智能领域的是美国的未来学家雷·库兹韦尔。他在《奇点临近》《人工智能的未来》两本书中将二者结合，以“奇点”作为隐喻，描述了人工智能的能力已超越人类的某个时空阶段。当人工智能跨越了这个奇点，我们习以为常的一切传统、认识、理念、常识将不复存在，技术的加速发展会导致一种“失控效应”，人工智能将超越人类智能的潜力和控制，迅速改变人类文明。



## 致 谢

迄今为止，写这本书可算作我人生中最具挑战性但又最有意义的事情之一。我需要充分利用自己所有的闲暇时间，在繁杂的日常事务中挤出时间来整理思路，并在陷入现实生活中的纷纷扰扰时寻找写作的动力。如果没有身边这一群出类拔萃的人，我不可能完成这本书的写作。这段时间我学到了许多，也成长了许多。感谢 Bert Bates，您是我出色的编辑和指导。我从您那里学到了如何用深入浅出的方式来讲解知识，也学到了一系列写作的技巧。您孜孜不倦的教诲使这本书得以面世。每个项目都需要有人管理进度与把控质量。为此，我要感谢开发编辑 Elesha Hyde，与您一起工作是我的荣幸，您总能给出有趣的见解，指导我写作的方向。一位能提出有效意见和建议的朋友是极为难得的，我要特别感谢 Hennie Brink，您所给出的建议一直以来都非常中肯，为我的写作提供了关键支持。接下来，我要感谢 Frances Buontempo 和 Krzysztof Kamyczek，不管是从文法角度，还是从技术角度，您都提供了建设性的批评和客观的反馈，大大提升了本书的可读性。我还要感谢我的项目经理 Deirdre Hiam、我的组稿编辑 Ivan Martinovic、文稿编辑 Kier Simpson，还有校对编辑 Jason Everett。感谢你们为本书所作出的贡献。

最后，我要感谢在整个写作过程中所有拨冗阅读我的手稿的审稿人，感谢你们提供了宝贵的反馈意见，你们的反馈成就了这本书：Andre Weiner、Arav Agarwal、Charles Soetan、Dan Sheikh、David Jacobs、Dhivya Sivasubramanian、Domingo Salazar、GandhiRajan、Helen Mary Barrameda、James Zhijun Liu、Joseph Friedman、Jousef Murad、Karan Nih、Kelvin D. Meeks、Ken Byrne、Krzysztof Kamyczek、Kyle Peterson、Linda Ristevski、Martin Lopez、Peter Brown、Philip Patterson、Rodolfo Allendes、Tejas Jain 和 Weiran Deng。



# 前言

《人工智能算法图解》一书主要面向希望掌握智能技术的初学者。通过使用类比法、比较法和图例解释，结合真实世界中的案例分析，我们希望本书能使人工智能算法更易于理解和实现，并希望在此基础上帮助读者掌握利用智能技术解决实际问题的途径和方法。

## 本书受众

本书是为软件开发人员(或软件相关行业从业人员)设计的，期望通过实际的例子来揭示人工智能背后的概念和算法，以可视化的方式帮助读者理解人工智能教材中那些常见的深奥理论与数学证明。

本书的目标读者是那些对计算机编程基础概念(包括变量、数据类型、数组、条件语句、迭代器、类和函数)有所了解的人，不要担心，你只需要掌握任意一门编程语言就足够了；与此同时，你只需要了解下面这几个基本的数学概念：变量、函数以及在图表上绘制变量和函数的方法。

## 本书的组织结构

本书包含 10 章，每一章侧重于不同的人工智能算法或实践方法。书中所涉及的概念由浅入深，前面章节的基本算法和概念将会为后面更复杂的算法奠定基础，以便读者循序渐进地学习。

第 1 章——人工智能初印象。该章介绍关于人工智能的基本概念，包括数据含义、问题类型、算法分类以及人工智能技术的典型应用。

第 2 章——搜索算法基础。该章介绍初级搜索算法涉及的数据结构、核心理念、实现方法以及典型应用。

第 3 章——智能搜索。该章在初级搜索算法的基础上更进一步，引入能寻找更优解决方案的方法——包括如何在竞争环境中寻找解决方案。



第 4 章——进化算法。该章深入讲解遗传算法的工作原理。通过模仿自然界中的进化过程，算法能反复生成并改进问题的解决方案。

第 5 章——进化算法(高级篇)。作为上一章的延续，该章深入讨论调整遗传算法中的步骤与参数的方法，以产生更理想的解或解决不同类型的问题。

第 6 章——群体智能：蚁群优化。该章旨在帮助读者掌握群体智能算法的基本概念，以蚂蚁的生活与工作方式为例，描述蚁群优化算法是如何解决实际难题的。

第 7 章——群体智能：粒子群优化。该章继续讲解群体智能算法，深入讨论优化问题的本质，并帮助读者掌握使用粒子群优化算法来解决优化问题的方式、方法——群体智能算法常常能在巨大的搜索空间中找到足够理想的解决方案。

第 8 章——机器学习。结合数据的准备、处理、建模和测试这一常见的机器学习工作流程，讲解如何解决线性回归问题和决策树分类问题。

第 9 章——人工神经网络。该章揭示训练并使用人工神经网络在数据中寻找模式和进行预测的基本原理、逻辑步骤和计算方法，强调人工神经网络在当代机器学习领域中的地位。

第 10 章——基于 Q-learning 的强化学习。该章结合行为心理学讲解强化学习算法的设计思路，并以 Q-learning<sup>1</sup>算法为例，阐明智能体是如何学习在环境中作出决策的。

原则上，建议读者从头到尾依次阅读本书的各个章节，并随着阅读进度逐步建立起对书中所述概念的理解。在读完每一章之后，不妨尝试根据书中所给出的伪代码实现并运行算法，以在实践中更好地理解算法原理。

## 关于代码

本书以伪代码的形式给出算法的参考实现——这种方法更加专注于算法背后的原理和逻辑思维。无论你偏好何种编程语言，我们都可确保你理解算法的设计思路。伪代码是非正式的代码实现，它更易于理解，或者说更符合人类的阅读习惯。

话虽如此，对于书中描述的所有算法，你可在 [Github](#) 上获得能直接运行的 Python 代码示例。源代码中也有安装说明供你参考。在读完每一章之后，不妨尝试运行本书给出的代码，来巩固对算法的理解。

需要说明的是，书中给出的 Python 代码旨在讲解算法实现，因此仅供参考——这

---

<sup>1</sup> 尽管 Q-learning 也可译作 Q-学习算法，但在中文语料中，Q-learning 一词往往不翻译。为方便读者查阅网络资料及参考文献，本书将 Q-learning 一词看作专有名词，并保持其原形。Q-learning 是一种基于价值的强化学习算法，旨在使用 Q 函数找到最优的动作选择策略。算法的目标是最大化价值函数 Q。

些代码是针对学习而非生产用途而设计的。在本书中，我们以教学为宗旨，尝试自行编写代码(而非简单调用现存机器学习库)来帮助读者更好地理解算法的实现。对于真正以生产为目的的项目，建议使用业界成熟的库和框架，因为它们通常已经针对性能进行了一系列优化，经过了大量实践检验，并且具备丰富的社区支持。

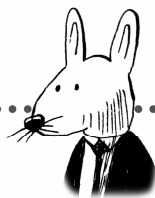


## 关于作者

从儿时起，Rishal 就着迷于计算机技术并有疯狂的想法。在整个职业生涯中，他领导过团队，负责过项目，动手编写过工程软件，做过战略规划，且曾为各种国际企业设计端到端解决方案。他在公司、社区和行业积极发展实用主义文化，帮助团队学习并掌握更多知识与技能。

Rishal 对设计思维、人工智能与哲学充满热情，擅长综合考虑业务机制与战略，他的团队不断壮大。Rishal 开发了多种数字产品，成功帮助大量团队与企业提高生产效率，使其能专注于更重要的事情。他还曾在数十次全球会议上发表演讲，致力于使复杂的概念变得更易于理解，帮助人们提升自我。





# 目 录

第 1 章 人工智能初印象.....	1
1.1 什么是人工智能? .....	1
1.1.1 定义 AI .....	2
1.1.2 理解数据是智能算法的 核心 .....	3
1.1.3 把算法看作“菜谱” .....	4
1.2 人工智能简史 .....	6
1.3 问题类型与问题解决 范式 .....	7
1.4 人工智能概念的直观 印象 .....	9
1.5 人工智能算法的用途 .....	13
1.5.1 农业: 植物种植优化 .....	13
1.5.2 银行业: 欺诈检测 .....	14
1.5.3 网络安全: 攻击检测与 处理 .....	14
1.5.4 医疗: 智能诊断 .....	14
1.5.5 物流: 路径规划与 优化 .....	15
1.5.6 通信: 网络优化 .....	16
1.5.7 游戏: 主体创造 .....	16
1.5.8 艺术: 创造杰出作品 .....	17
1.6 本章小结 .....	17

第 2 章 搜索算法基础 .....	21
2.1 什么是规划与搜索? .....	21
2.2 计算成本: 需要智能算法的 原因 .....	23
2.3 适合用搜索算法的问题 .....	24
2.4 表示状态: 创建一个表示 问题空间与解的框架 .....	26
2.4.1 图: 表示搜索问题 与解 .....	28
2.4.2 用具体的数据结构 表示图 .....	28
2.4.3 树: 表示搜索结果的具体 结构 .....	29
2.5 无知搜索: 盲目地找 寻解 .....	31
2.6 广度优先搜索: 先看广度, 再看深度 .....	33
2.7 深度优先搜索: 先看深度, 再看广度 .....	39
2.8 盲目搜索算法的用例 .....	45
2.9 可选: 关于图的类别 .....	46
2.10 可选: 其他表示图的 方法 .....	47
2.10.1 关联矩阵 .....	47

2.10.2 邻接表 .....	48	4.8.1 单点交叉：从每个亲本 继承一部分 .....	97
2.11 本章小结 .....	48	4.8.2 两点交叉：从每个亲本 继承多个部分 .....	98
<b>第3章 智能搜索 .....</b>	<b>51</b>	4.8.3 均匀交叉：从每个亲本 继承多个部分 .....	98
3.1 定义启发式方法：设计有 根据的猜测 .....	51	4.8.4 二进制编码的位串 突变 .....	100
3.2 知情搜索：在指导下寻求 解决方案 .....	54	4.8.5 二进制编码的翻转位 突变 .....	101
3.2.1 A*搜索 .....	54	4.9 繁衍下一代 .....	101
3.2.2 知情搜索算法的用例 .....	61	4.9.1 探索与挖掘 .....	102
3.3 对抗性搜索：在不断变化的 环境中寻找解决方案 .....	62	4.9.2 停止条件 .....	102
3.3.1 一个简单的对抗性 问题 .....	62	4.10 遗传算法的参数配置 .....	104
3.3.2 最小-最大搜索：模拟行动 并选择最好的未来 .....	63	4.11 进化算法的用例 .....	105
3.3.3 启发式 .....	64	4.12 本章小结 .....	105
3.3.4 阿尔法-贝塔剪枝：仅探索 合理的路径 .....	72	<b>第5章 进化算法(高级篇) .....</b>	<b>107</b>
3.3.5 对抗搜索算法的典型 案例 .....	75	5.1 进化算法的生命周期 .....	107
3.4 本章小结 .....	75	5.2 其他筛选策略 .....	109
<b>第4章 进化算法 .....</b>	<b>77</b>	5.2.1 排序筛选法：均分 赛场 .....	109
4.1 什么是进化？ .....	77	5.2.2 联赛筛选法：分组 对抗 .....	110
4.2 适合用进化算法的问题 .....	80	5.2.3 精英筛选法：只选最 好的 .....	111
4.3 遗传算法的生命周期 .....	84	5.3 实值编码：处理真实 数值 .....	111
4.4 对解空间进行编码 .....	86	5.3.1 实值编码的核心概念 .....	112
4.5 创建解决方案种群 .....	89	5.3.2 算术交叉：数学化 繁殖 .....	113
4.6 衡量种群中个体的 适应度 .....	91	5.3.3 边界突变 .....	113
4.7 根据适应度得分筛 选亲本 .....	93	5.3.4 算术突变 .....	114
4.8 由亲本繁殖个体 .....	96	5.4 顺序编码：处理序列 .....	114

5.4.1	适应度函数的重要性	116
5.4.2	顺序编码的核心概念	116
5.4.3	顺序突变：适用于顺序 编码	116
5.5	树编码：处理层次结构	117
5.5.1	树编码的核心概念	118
5.5.2	树交叉：继承树的 分支	119
5.5.3	节点突变：更改 节点的值	120
5.6	常见进化算法	120
5.6.1	遗传编程	120
5.6.2	进化编程	121
5.7	进化算法术语表	121
5.8	进化算法的其他用例	121
5.9	本章小结	122
第 6 章	群体智能：蚁群优化	125
6.1	什么是群体智能？	125
6.2	适合用蚁群优化算法的 问题	127
6.3	状态表达：如何表达蚂蚁 和路径？	130
6.4	蚁群优化算法的生命 周期	134
6.4.1	初始化信息素印迹	135
6.4.2	建立蚂蚁种群	136
6.4.3	为蚂蚁选择下一个访问 项目	138
6.4.4	更新信息素印迹	145
6.4.5	更新最佳解决方案	149
6.4.6	确定终止条件	150
6.5	蚁群优化算法的用例	152
6.6	本章小结	153

第 7 章	群体智能：粒子群 优化	155
7.1	什么是粒子群优化？	155
7.2	优化问题：略偏技术性的 观点	157
7.3	适合用粒子群优化算法的 问题	160
7.4	状态表达：粒子是什么 样的？	162
7.5	粒子群优化的生命周期	163
7.5.1	初始化粒子群	164
7.5.2	计算粒子的适应度	166
7.5.3	更新粒子的位置	169
7.5.4	确定终止条件	180
7.6	粒子群优化算法的用例	181
7.7	本章小结	183
第 8 章	机器学习	185
8.1	什么是机器学习？	185
8.2	适合用机器学习的问题	187
8.2.1	监督学习	188
8.2.2	非监督学习	188
8.2.3	强化学习	188
8.3	机器学习的工作流程	188
8.3.1	收集和理解数据：掌握 数据背景	189
8.3.2	准备数据：清洗和 整理	191
8.3.3	训练模型：用线性回归 预测	196
8.3.4	测试模型：验证模型 精度	205
8.3.5	提高准确性	208
8.4	分类问题：决策树	210

8.4.1 分类问题：非此即彼·····210	9.9 本章小结 ····· 266
8.4.2 决策树的基础知识 ·····211	
8.4.3 训练决策树 ·····213	<b>第 10 章 基于 Q-learning 的强化学习·····269</b>
8.4.4 用决策树对实例进行分类 ·····223	10.1 什么是强化学习？ ····· 269
8.5 其他常见的机器学习算法····· 226	10.2 适合用强化学习的问题····· 272
8.6 机器学习算法的用例····· 227	10.3 强化学习的生命周期 ··· 273
8.7 本章小结 ····· 228	10.3.1 模拟与数据：环境重现 ·····274
<b>第 9 章 人工神经网络 ·····231</b>	10.3.2 使用 Q-learning 模拟训练·····278
9.1 什么是人工神经网络？ ··· 231	10.3.3 模拟并测试 Q 表 ····287
9.2 感知器：表征神经元 ····· 234	10.3.4 衡量训练的性能 ····287
9.3 定义人工神经网络 ····· 237	10.3.5 无模型和基于模型的学习 ·····288
9.4 前向传播：使用训练好的人工神经网络····· 243	10.4 强化学习的深度学习方法 ····· 289
9.5 反向传播：训练人工神经网络····· 250	10.5 强化学习的用例····· 289
9.6 激活函数一览 ····· 259	10.5.1 机器人技术 ·····290
9.7 设计人工神经网络 ····· 260	10.5.2 推荐引擎 ·····290
9.8 人工神经网络的类型和用例 ····· 263	10.5.3 金融贸易 ·····290
9.8.1 卷积神经网络 ·····263	10.5.4 电子游戏 ·····291
9.8.2 递归神经网络 ·····264	10.6 本章小结····· 291
9.8.3 生成对抗网络 ·····264	



# 人工智能初印象 | 第 1 章



## 本章内容涵盖：

- 众所周知的人工智能的定义
- 初识适用于人工智能的概念
- 计算机科学与人工智能中的问题类型及其性质
- 本书讨论的人工智能算法概览
- 人工智能的现实应用

## 1.1 什么是人工智能？

智能是一个谜——一个没有公认定义的概念。对于它是什么以及它是如何出现的，哲学家、心理学家、科学家和工程师们各持己见。我们可从周围的自然界中看到智能，例如共同合作的生物群体，我们也可在人类思考和行为的方式中看到智能。一般而言，同时具备自主性和适应性的事物被认为是智能的。一个事物具有自主性意味着它不需要持续接受指令；而它具有适应性意味着它能根据环境或问题空间的变化来改变它的行为。当我们观察有机体或机器时，我们发现行动的核心元素是数据；我们见到的视觉信息是数据；我们听到的声音是数据；我们对周围事物的测量结果也是数据。我们获取数据，处理数据并根据数据作出决策。因此，从根本上理解有关数据的概念对于理解人工智能(Artificial Intelligence, AI)算法具有重要意义。

### 1.1.1 定义 AI

有些人认为，我们之所以不理解 AI，是因为我们很难定义智能自身。萨尔瓦多·达利<sup>1</sup>(Salvador Dalí)相信企图心是智能的一项属性。他说：“没有企图心的智能是没有翅膀的鸟。”阿尔伯特·爱因斯坦<sup>2</sup>(Albert Einstein)认为想象力是智能的重要因素。他说：“智能的真正标志不是知识，而是想象力。”而斯蒂芬·霍金<sup>3</sup>(Stephen Hawking)表示：“智能是适应的能力。”他强调智能的关键在于适应世界的变化的能力。这三位伟大的思想者对智能有不同的看法。虽然智能还没有真正而确切的定义，但我们至少知道，对智能的理解是基于人类作为占主导地位(也是最智能)的物种而展开的。

为了方便理解，也为了与本书中的实践应用保持一致，我们宽泛地将人工智能定义为展示出“智能”行为的综合系统。通常来说，与其试图将某物定义为 AI 或非 AI，我们不如讨论它的“类 AI”(AI-likeness)特性。某种事物可能展现出智能的某些特性，因为它能帮助我们解决困难问题，并且能提供价值和功用。一般而言，能模拟视觉、听觉和其他自然感觉的智能实践被认为具有类 AI 特性。能自主学习并且适应新数据和环境的解决方案也被认为具有类 AI 特性。

这里给出了一些展现 AI 特性的事物的例子：

- 能够玩各种复杂游戏的系统
- 癌变肿瘤检测系统
- 基于少量输入就能产出艺术作品的系统
- 自动驾驶汽车

---

1 全名萨尔瓦多·多明哥·菲利普·哈辛托·达利-多梅内克，一般简称萨尔瓦多·达利(Salvador Dalí)，是著名的西班牙加泰罗尼亚画家，因其超现实主义作品而闻名。达利是一位具有非凡才能和想象力的艺术家，与毕加索、马蒂斯一起被认为是 20 世纪最具代表性的三个画家。

2 阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein)，现代物理学家。1905 年，爱因斯坦获苏黎世大学物理学博士学位，并提出光子假设，成功解释了光电效应(因此获得 1921 年诺贝尔物理学奖)；同年创立狭义相对论，1915 年创立广义相对论。1933 年移居美国，在普林斯顿高等研究院任职。1940 年加入美国国籍，同时保留瑞士国籍。1955 年 4 月 18 日，爱因斯坦于美国新泽西州普林斯顿逝世，享年 76 岁。1999 年 12 月，爱因斯坦被美国《时代周刊》评选为 20 世纪的“世纪伟人”。

3 斯蒂芬·威廉·霍金(Stephen William Hawking)，英国著名物理学家和宇宙学家，肌肉萎缩性侧索硬化症患者，全身瘫痪，不能发音。霍金的主要研究领域是宇宙论和黑洞，他证明了广义相对论的奇性定理和黑洞面积定理，提出了黑洞蒸发现象和无边界的霍金宇宙模型，这往统一 20 世纪物理学的两大基础理论(爱因斯坦创立的相对论和普朗克创立的量子力学)方向迈出了重要一步。

侯世达<sup>1</sup>(Douglas Hofstadter)说过:“AI 是人类尚未做过的任何事情。”在上面列举的例子中,自动驾驶汽车看起来是智能的,因为它还没有真正走入我们的日常生活中。同理,能够做加法的计算机在过去被认为是智能的,但现在被认为是理所当然的。

归根结底, AI 是一个模糊的术语,对于不同的人、行业和学科而言有不同的含义。本书中的算法在过去或现在均被归类为 AI 算法;它们是否符合某一类具体的 AI 定义并不重要。真正重要的是,它们对于解决困难问题是有用的。

### 1.1.2 理解数据是智能算法的核心

数据是奇妙算法的输入,基于数据,算法可实现像魔术一样的壮举。如果数据选取不当,数据表示不佳或数据缺失,算法都会表现得糟糕;所以,算法的输出受限于输入的数据,算法的表现只能达到数据所允许的程度。这个世界充斥着各种各样的数据,且一部分数据以我们不能感知的方式存在着。数据可表示为以数值度量的值,如北极当前的温度、池塘中鱼的数量或者按天数计算的年龄。所有这些例子都涉及基于事实的准确数值。这些数据很难被曲解。在某一特定地点、特定时刻的温度是绝对事实,不受任何偏见影响。这类数据被称为定量数据。

数据也可用来表示观察的结果,如花朵的气味或者某人对一位政治家的政见的赞同程度。这类数据也被称为定性数据,有时很难理解,因为它不是绝对事实,而是某个人对某项事实的感知。图 1.1 展示了我们周围的若干定量与定性数据的例子。



图 1.1 我们周围的数据示例

1 侯世达(Douglas Richard Hofstadter)是美国当代著名学者、认知科学家。侯世达生于学术世家,其父罗伯特·霍夫施塔特(Robert Hofstadter)是 1961 年诺贝尔物理学奖得主。侯世达在斯坦福大学长大,并于 1965 年毕业于该校数学系。1975 年因发现了侯世达蝴蝶(Hofstadter butterfly)而取得俄勒冈大学物理学博士学位。1979 年出版《哥德尔、艾舍尔、巴赫——集异璧之大成》,次年获得普利策奖(非虚构类)与美国国家图书奖(科学类)。该书通过对哥德尔的数理逻辑、艾舍尔的版画和巴赫的音乐三者的综合阐述,探讨了人类思维的层次、规律与应用,被誉为心智议题跨学科第一奇书。

数据是关于事物的未经加工的事实，因此数据的记录通常不应该带有什么偏见。不过在现实中，数据是人们基于具体的情境和对数据可能的使用方式的理解来收集、记录和关联的。以回答基于数据的问题为目的，构建有意义的见解的行为就属于创建信息的行为。此外，通过经验对信息加以处理，并有意识应用的行为创造了知识。这也是我们试图用 AI 算法模拟的部分内容。

图 1.2 说明了如何解释定量与定性数据。标准化的仪器，如钟表、计算器和天平，通常用于测量定量数据，而我们的嗅觉、听觉、味觉、触觉和视觉，还有我们的主观思想通常产生定性数据。

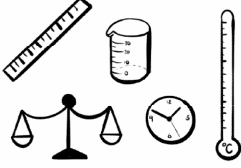
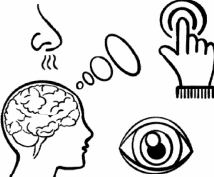


	定量	定性
仪器		
卡布奇诺的例子	 杯子容量350毫升、温度91摄氏度、重量226克、陶瓷杯、非洲咖啡豆	 纹理细腻、口感浓郁、有少许巧克力味、咖啡颜色是金棕色、杯子颜色是白色、气味浓

图 1.2 定量数据与定性数据

不同的人可根据他们对该领域的理解水平和他们对世界的看法，对数据、信息和知识作出不同的解释，这一事实会对解决方案的质量产生影响，同时使技术创造的科学性变得非常重要。遵循可重复的科学过程来采集数据，进行实验并准确地报告结果，这样，在使用算法来处理数据时，我们才能确保得到更准确的结果和更好的问题解决方案。

### 1.1.3 把算法看作“菜谱”

现在本章已对 AI 有了一个宽泛的定义，并且阐明了数据的重要性。因为我们将本书中探索几种 AI 算法，所以有必要准确理解什么是算法。算法是为了实现特定目标，由一组指令与规则所组成的规范。算法通常接受输入，在若干有限的步骤中经历状态变化，最后生成一个输出。

即使像读书这样简单的事情也可被表示成一个算法。下面以阅读本书的步骤为例。

- (1) 找到这本《人工智能算法图解》(*Grokking Artificial Intelligence Algorithms*)。

- (2) 翻开这本书。
- (3) 如果还有未读的书页，
  - a. 读一页。
  - b. 翻到下一页。
  - c. 想想你学到了什么。
- (4) 想想如何在现实世界中应用你所学到的知识。

一个算法可被看作一个菜谱，如图 1.3 所示。以给定的一系列材料和工具作输入，同时列出做一道菜的步骤说明，做出来的菜就是输出。

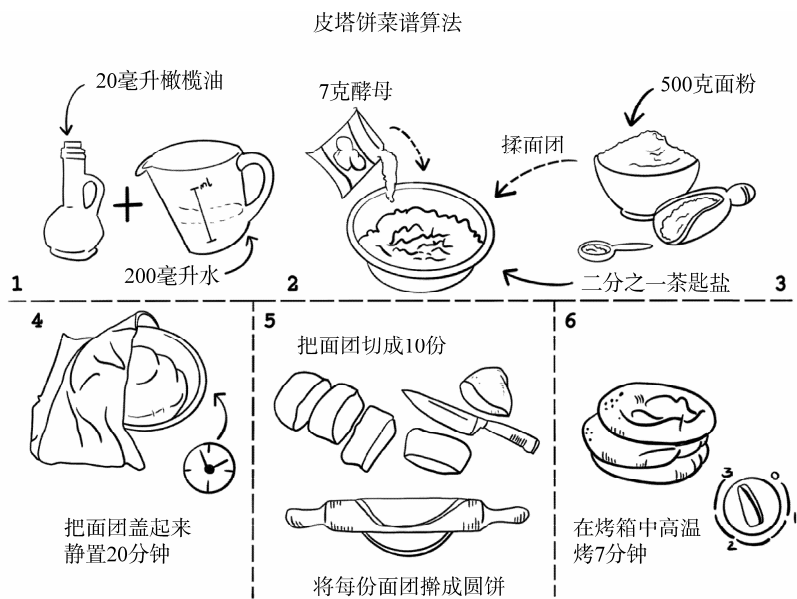


图 1.3 表明算法与菜谱相似的示例

算法可被用于许多不同的解决方案中。例如，我们可借助压缩算法来实现世界各地之间的实时视频聊天，也可使用实时求解路径算法在地图应用程序中进行城市间导航。即便一个简单的“Hello World<sup>1</sup>”程序也要用许多算法才能把人类可读的程序语言翻译成机器码并在硬件上执行相关的指令。如果你研究得够仔细，你会发现算法无处不在。

为了演示与本书中的算法更为接近的内容，图 1.4 展示了一种猜数字游戏的

1 译者注：Hello World 的中文意思是“你好，世界”。著名程序设计书籍《C 程序设计语言》(The C Programming Language)将它用作第一个 C 语言编程的演示程序，因为它简洁实用，所以后来的程序员在学习编程或进行设备调试时延续了这一习惯。不少程序员上手的第一个程序就是“Hello World”，后来的各类教材都以 Hello World 作为开篇，常用于形容某个领域的第一课。

算法——该算法可用流程图表示。计算机生成给定范围内的某个随机数，玩家尝试猜出那个数的值。注意，算法有若干分开的步骤，在走到下一步之前，要么执行当前步骤所需要的操作，要么根据当前条件作出决策。

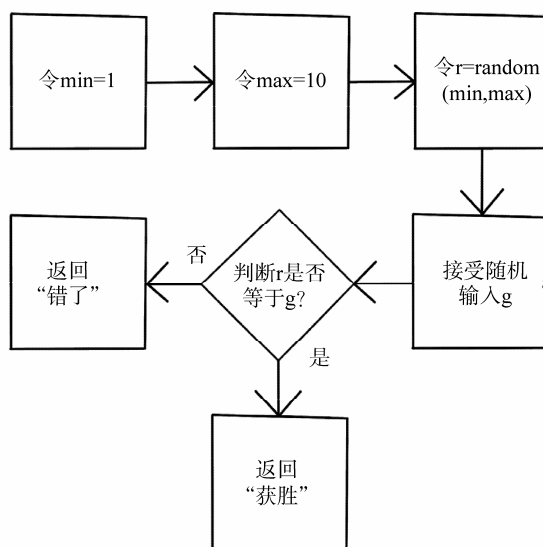


图 1.4 猜数字游戏算法流程图

根据我们对技术、数据、智能与算法的理解：AI 算法是一组指令，它可利用数据创建能展现智能行为并解决困难问题的系统。

## 1.2 人工智能简史

简单回顾一下人工智能在历史上所取得的辉煌成就有助于我们理解那些传统技术和创新想法，帮助我们以富有创造性的方式解决问题。人工智能并不是一个新概念。历史上充斥着机械人与能够自主“思考”的机器的传说。回头再看，我们发现自己正站在巨人的肩膀上。可能我们自己也能以某种微小的方式为这个知识库做一点贡献。

回顾过去的发展，我们会发现理解 AI 基本原理的重要性；数十年前的算法在许多现代 AI 的实现中至关重要。本书首先讲述有助于初步认识求解问题的基础算法，然后逐渐转到更有趣和更现代的方法。

图 1.5 没有全面列举所有 AI 成就——它只列举了其中一部分。历史上存在的人工智能领域的突破比这多得多！

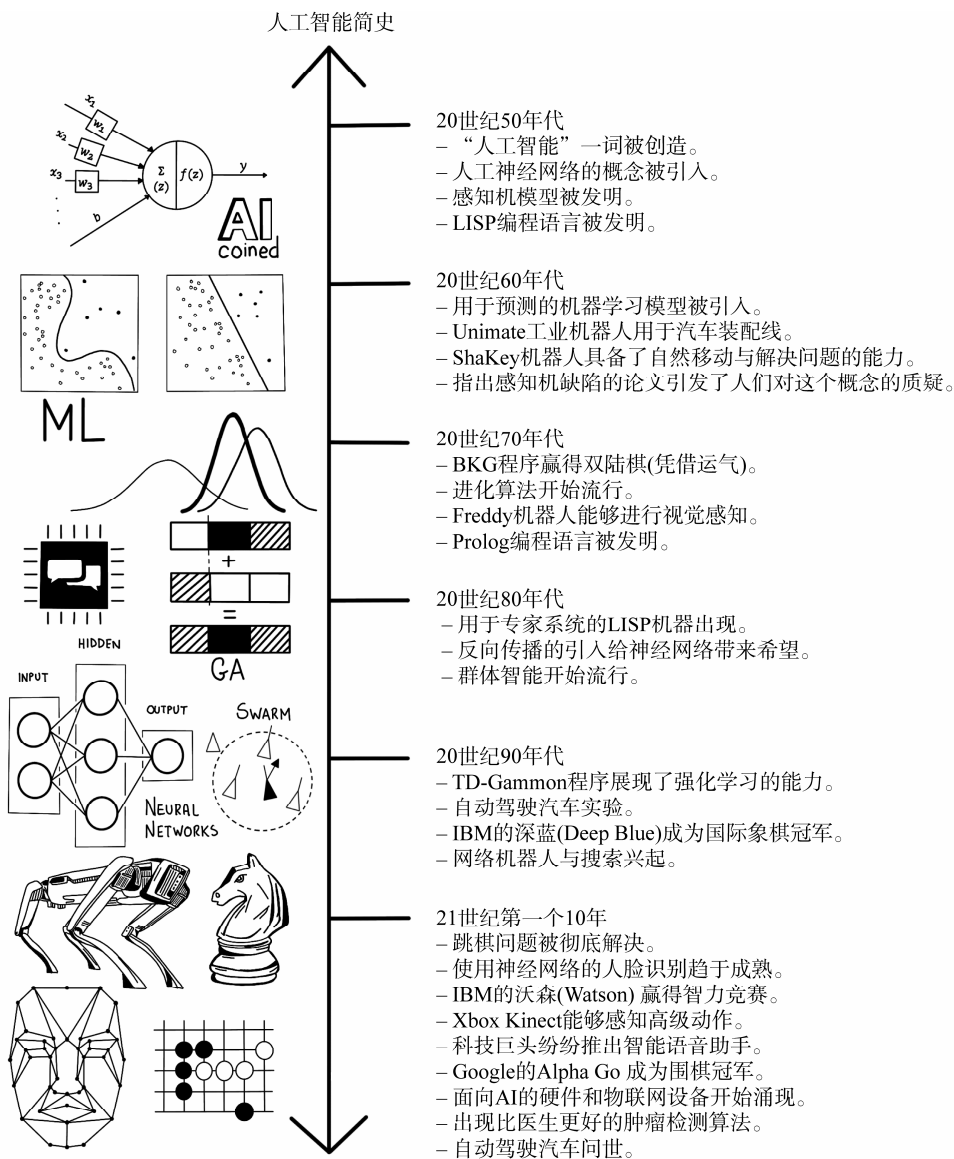


图 1.5 AI 的演进

### 1.3 问题类型与问题解决范式

人工智能算法很强大，但它们并不是能解决任何问题的灵丹妙药。人工智能擅长解决的问题是什么呢？本节将讨论我们在计算机科学中经常碰到的不同类型的问题，并阐明我们是如何对这些问题产生直觉的。这种直觉可帮助我们在现实

世界中识别这些问题，并指导我们选择解决方案所适用的算法。

我们引入计算机科学与人工智能领域的若干术语来描述问题，并根据场景(上下文)与目标对问题进行分类。

### 1. 搜索问题：寻找通往解决方案的路径

搜索问题涉及这样一种情况：它具有多种可能的解决方案，每一种解决方案表示一条通往目标的步骤序列(路径)。一部分解决方案的路径有相互重叠的子集；一部分解决方案比另外一部分更理想；一部分解决方案的实现成本比另一部分更低。通常，一个解决方案是否更“理想”取决于被处理的具体问题，而一个解决方案“成本更低”意味着它在计算上执行代价更小。举一个例子，假设要确定地图上的两个城市之间的最短路径，我们会找到许多可行的路径，它们具备不同的距离和交通条件，但是有一部分路径比其他的更好。许多 AI 算法是基于搜索解空间的概念而设计的。

### 2. 优化问题：寻找好的解决方案

优化问题涉及这样一种情况：它有大量的可行解，而最优解很难求得。优化问题通常有极多的可行解，每一种解的质量有所不同。例如往汽车后备箱里装行李，要尽可能地最大化空间使用率。这里可采用许多种组合；如果后备箱能被更有效地使用，就可装下更多的行李。

#### 局部最优与全局最优

因为优化问题有许多解，且这些解位于搜索空间的不同位置，这就牵涉到局部最优与全局最优的概念。局部最优是搜索空间的特定区域内的最优解，而全局最优是整个搜索空间内的最优解。通常情况下，存在许多局部最优解与一个全局最优解。例如，考虑搜索一家最好的餐厅。你可能在你所在的地方找到最好的餐厅，但它不一定是全国最好的餐厅，或者全世界最好的餐厅。

### 3. 预测与分类问题：从数据的模式中学习

预测问题是这样一类问题：我们有关于某一事物的数据并希望能够从中发现某种模式。例如，我们可能获取了不同车型的相关数据，包括它们的引擎尺寸以及每种车型的燃油消耗。我们能否根据一个新车型的引擎尺寸来预测它的燃油消耗呢？如果引擎尺寸与燃油消耗的数据之间存在相关性，那么预测应该是可能的。

分类问题与预测问题类似，只不过我们不需要找到确切的预测结果，如燃油消耗，而只需要根据某物的特征找到它所属的分类。譬如，根据车辆的尺寸、引擎尺寸、座位数量，我们能否预测它是一辆摩托车、轿车还是越野车？分类问题要求你在数据中找出对样本进行分类的模式。在尝试挖掘数据中的模式时，插值



是一个重要的概念，因为我们需要根据已知数据来估计新的数据点。

#### 4. 聚类问题：找出数据中的模式

在聚类问题的一些场景中，可从数据中找到趋势和关系。数据的不同特性用于把样本以不同方式分组。例如，给定餐厅的消费价格与位置数据，我们可能会发现年轻人更倾向于去食物更便宜的地方。

聚类旨在发现数据之中的关系。即使我们并没有精确的问题要解答，这种方式也有利于更好地理解数据，让你知道可从数据中知道什么。

#### 5. 确定性模型：每次都会得出相同结果

确定性模型在给定具体的输入时，会返回一致的输出。例如，指定具体城市的时间为正午，我们总是可以预计此时此地是白天；而给定午夜时间，我们总是可以预计那个时间点是黑夜。显然，这个简单的例子并没有考虑两极地区的特殊日照时间。

#### 6. 随机/概率模型：每次可能得出不同结果

概率模型在给定具体的输入时，返回一组可能输出中的一种。概率模型通常有一个受控的随机因素影响可能的输出。例如，给定正午的时间，我们可预测当时的天气是晴天、阴天或雨天；此时并没有固定的天气。

## 1.4 人工智能概念的直观印象

人工智能与机器学习、深度学习一样，都是热点话题。理解这些既相似又不同的概念可能很不容易。而且，在人工智能领域，不同智能程度之间也存在差别。

本节将澄清部分概念。这一节也是本书所有主题的路线图。

下面将如图 1.6 所示，深入探讨不同级别的人工智能。



图 1.6 AI 的级别

## 1. 有限智能：特定用途的解决方案

有限智能系统能在一个特定的场景或领域中解决问题。在一个场景中解决问题之后，这些系统通常不能把所获得的解决方案应用在另一个场景中。例如，一个用于理解消费者互动与消费行为的系统不能用于识别图像中的猫。通常来说，要让一个方法在解决一种问题时有效，它就必须专门考虑那个问题领域，因此很难把它适配到其他问题上。

不同的有限智能系统能以合理的方式组合出更具一般性的智能系统。以语音助手为例。这个系统能够理解自然语言，单独而言这是一个小领域的问题，但是通过与其他有限智能系统(例如网络搜索、音乐推荐)相结合，它可展现出一般智能的特性。

## 2. 一般智能：类人的解决方案

一般智能是类人的智能。作为人类，我们可从不同的经验与互动中学习，并把我们对一个问题的理解应用到另一个问题上。例如，如果你小时候因为碰到烫手的東西而觉得疼痛，你可以由此推断其他烫的东西可能会伤到你。不过人类的一般智能并不止于得出“烫手的东西可能有危害”这样的推论。一般智能包括记忆、通过视觉输入的空间推理、知识的应用等。在机器上实现一般智能从短期来看也许是一件不太可能的事情，不过量子计算、数据处理、AI 算法的进步可能会在未来使它成为现实。

## 3. 超级智能：巨大的未知数

有些关于超级智能的想法出现于以人类文明毁灭之后的世界为背景的科幻小说中，在那里，所有的机器连接在一起，能对事物作出超出我们理解的推理并且统治人类。人类是否能创造比人类自身更智能的事物？并且，如果可以，那么我们是否可以知道这一点？对此，有许多存在分歧的哲学观点。超级智能是一个巨大的未知数，而且在很长时间内，任何定义都只会是猜想。

## 4. 旧智能与新智能

有时候，我们会用旧智能与新智能描述 AI 算法。旧智能通常是指人们根据自身对问题的深入理解，或者通过试错对规则进行编码，从而使算法表现出智能行为的系统。比如手动创建决策树，并设置整个决策树中的规则与选项，这种方法即旧智能。新智能旨在创造算法和模型，使之能够从数据中学习，并且创建与人类设定的规则一样准确或更好的规则。旧智能与新智能的区别在于后者能自行在数据中发现重要的模式——人类永远也发现不了或要花长得多的时间来寻找的模式。搜索算法经常被当作旧智能的一个代表，不过，如能扎实地理解它们，将有助于学习更

复杂的方法。本书旨在介绍应用最广泛的智能算法，并在每个概念之上逐步推进。图 1.7 介绍了人工智能领域内部分概念之间的关系。

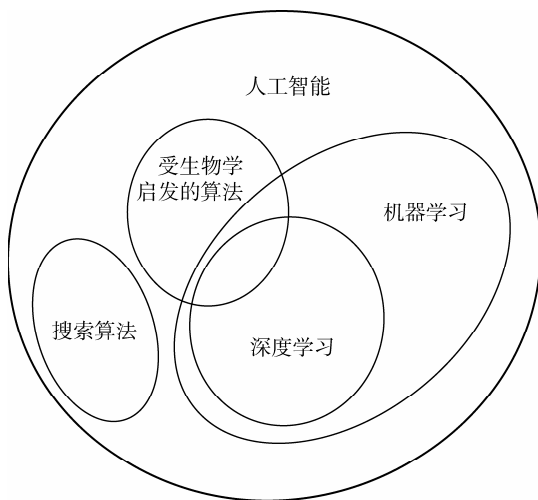


图 1.7 AI 领域内概念的分类

## 5. 搜索算法

搜索算法可用于解决需要若干行动来达成目标的问题，例如寻找通向迷宫出口的路径或者确定一个游戏中的最佳行动。搜索算法能评估未来的状态，并尝试找到通往最有价值目标的最佳路径。通常情况下，总有太多的可行解等待我们去进行暴力搜索。即使是很小的搜索空间，也需要数千小时的计算才能找到最优解。搜索算法提供了评估搜索空间的智能方法。搜索算法经常用于在线搜索引擎、地图导航应用，甚至游戏机器人的设计。

## 6. 受生物学启发的算法

环顾周围的世界，我们会注意到动物、植物和其他有机体中发生的各种不可思议的事情。例如，搬运食物的蚂蚁之间的合作、迁徙的鸟类形成的群、大脑中神经细胞的工作方式，还有不同有机体通过进化产生更强后代的模式。通过观察和研究不同的现象，我们了解了这些有机系统的工作方式，以及简单规则如何导致智能行为。其中有些现象已经激励人们开发出了在人工智能领域行之有效的算法，如进化算法和群体智能算法。

进化算法的灵感来自查尔斯·达尔文(Charles Darwin)<sup>1</sup>的进化论。该理论认为，种群能够繁衍出新的个体；在这个过程中，基因的混合与变异能产生比祖先更优的个体。群体智能是指一群看起来“蠢笨”的个体以群体的形式表现出智能的行为。蚁群优化算法与粒子群优化算法是两种被广泛使用的算法，我们将在本书中介绍。

## 7. 机器学习算法

机器学习采用统计学方法来训练模型从数据中学习。在机器学习的范畴中，有很多不同的算法可增进模型对数据之中存在的关系的理解，并让模型根据该数据作出决策或进行预测。

机器学习中主要有以下三类方法。

- 监督学习。当训练数据对所给问题有已知的答案时，例如，假设数据集包含每个样本的重量、颜色、纹理和水果类型的标签，要求确定水果的类型，用算法训练模型的方法即监督学习。
- 无监督学习。无监督学习揭示隐含在数据中的关系和结构，指导我们提出与数据集相关的问题。该方法可发现相似的水果在某些属性上所具有的模式，并据此把它们归为一类，使我们知道可针对这份数据提出什么问题。这些核心概念与算法能为我们未来选择更高级的算法奠定基础。
- 强化学习。强化学习的灵感来自行为心理学。简而言之，该理论说的是奖励个体的有益行为，惩罚个体的无益行为。举一个人类的例子：当小学生在考试中拿到好成绩时，他们通常会受到奖励；反之，上课交头接耳这种不良表现有时会遭致惩罚，这些来自周围的反馈能强化学生争取好结果的行为。强化学习可用于探索计算机程序或机器人是如何与动态环境互动的。例如，我们希望一个机器人能完成开门的任务：它没开门的时候会被惩罚，但在开完门之后会被奖励。经过一段时间，在很多次尝试之后，机器人“学会”了开门所需的动作序列。

## 8. 深度学习算法

深度学习源自机器学习，是一类更广泛的方法与算法，用于实现有限智能并进而推广到一般智能。通常情况下，深度学习意味着尝试用一种更具一般性的方法(如空间推理)来解决问题，或者将它应用于更具一般性的问题中，如计算机视

---

<sup>1</sup> 译者注：查尔斯·达尔文，英国生物学家，进化论的奠基人。曾经乘坐贝格尔号舰作了历时5年的环球航行，对动植物和地质结构等进行了大量的观察和采集。出版《物种起源》，提出了生物进化论学说，从而摧毁了各种唯心的神造论以及物种不变论。除了生物学外，达尔文的理论对人类学、心理学、哲学的发展都有不容忽视的影响。

觉和语音识别。一般性问题是人类善于解决的问题。例如，我们几乎可以在任何场景下对视觉输入进行模式匹配。深度学习自身也与监督学习、非监督学习和强化学习相关。深度学习方法通常会使用许多层人工神经网络。通过利用不同层中的智能组件，使每一层解决专门的问题；然后将所有这些层综合起来，以尝试解决指向更大目标的复杂问题。例如，假设要识别一幅图像中的物体，这是一个一般性的问题，但是可将该问题分解成理解颜色、识别物体的形状、识别物体之间的关系等，从而达到目标。

## 1.5 人工智能算法的用途

人工智能技术的用途可以说是无穷无尽的。只要有数据和要解决的问题，就能有人工智能的用武之地。考虑到不断变动的环境、人类之间交互方式的演化、人群与行业需求的变化，人工智能可能以新颖的方式解决现实世界的问题。本节将描述不同行业中的人工智能应用场景。

### 1.5.1 农业：植物种植优化

维持人类生存的最重要的行业之一是农业。我们需要能够以经济的方式种植供大众消费的优质作物。许多农民以商业规模种植作物，使我们能在商店里方便地买到水果和蔬菜。作物的生长情况取决于作物类型、土壤养分、土壤水分、水中细菌、区域天气情况等。由于特定的作物通常只适合生长在特定的季节，我们的目标是在一个季节中产出尽可能多的优质农产品。

农民与其他农业组织已经收集了历年的关于农场与作物的数据。通过这些数据，我们可利用机器找出作物生长过程中各变量的模式与关系，并确定对成功的种植贡献最多的因素。此外，通过现代数字传感器，我们可实时记录天气情况、土壤属性、水质条件和作物生长情况。这些数据与智能算法结合，使我们能实时给出建议并进行调整，从而实现最优种植，如图 1.8 所示。

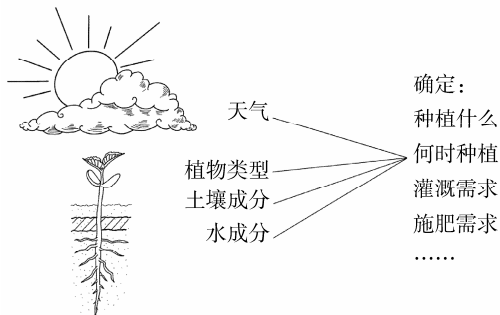


图 1.8 使用数据优化作物种植

### 1.5.2 银行业：欺诈检测

当我们需要用某种共同的货币来交易商品与服务时，银行业便成了一种明显的刚需。随着时间的推移，银行在存款、投资和支付方面提供的方式已经变了很多。但是，有一件事情是不随着时间而改变的：人们一直在寻找新的方式来欺骗这个系统。其中最大的问题之一是欺诈，它不仅存在于银行业，还存在于其他大部分金融机构，如保险公司。所谓欺诈，就是有人以不诚实的方式或非法的手段来为他们获取利益。通常，当某一个流程的漏洞被利用，或者诈骗分子哄骗某人泄露了信息时，欺诈即发生了。因为金融服务行业通过互联网与个人设备高度连接，在网络上进行的电子交易要远远多于人们用物理货币进行的交易。通过海量的可用交易数据，我们可实时确定某个个体支付行为的交易模式，并判断它是否有可能是不正常的。这种数据可为金融机构节省巨额的花费，并使正常客户免受侵害。

### 1.5.3 网络安全：攻击检测与处理

互联网兴起所产生的一个有趣的副作用是网络安全问题。我们时刻在互联网上收发敏感信息——即时消息、信用卡信息、电子邮件，还有其他的重要机密信息。这些信息如果落入不法分子手中，将可能被滥用。全世界成千上万的服务器在不断接收、处理和存储数据。攻击者试图侵害这些系统以获取数据、设备乃至设施的访问权限。

通过人工智能，我们可以确认并拦截服务器受到的潜在攻击。有些大型互联网公司会存储具体用户与其服务交互的数据，包括用户的设备编码、地理位置和使用行为；当检测到不寻常的行为时，它们会用安全措施限制访问。有些互联网公司还能在受到分布式拒绝服务攻击<sup>1</sup>(Distributed Denial of Service, DDoS)时拦截和转发恶意流量；DDoS 攻击通过假请求向服务施加过度负载，令服务瘫痪或阻止正常用户访问。通过理解用户的使用数据、系统和网络情况，我们可找出假数据并进行转发，从而尽可能减小攻击的影响。

### 1.5.4 医疗：智能诊断

自古以来，医疗一直是人们关心的问题。我们需要在不同地点、不同时间窗口，针对不同疾病，在问题发展得更为严重甚至导致生命危险之前，使患者获得诊断与治疗。当我们检查病人的资料并尝试作出诊断时，我们可能会查看关于人

---

<sup>1</sup> 译者注：分布式拒绝服务攻击可使很多计算机在同一时间遭到攻击，由于攻击的发出点是分布在不同地方的，这类攻击被称为分布式拒绝服务攻击。分布式拒绝服务攻击在历史上多次出现，导致很多大型网站遇到了无法进行操作的情况——不仅会影响用户的正常使用，还会造成非常重大的经济损失。

体的海量知识记录、已知的问题、关于这些问题的处理经验，还有大量的人体扫描结果。传统上，医生必须分析扫描图像来找出肿瘤，但是这种方法只能帮他们找出最大、最严重的肿瘤。深度学习的发展改善了扫描图像的肿瘤检测效果。现在医生可在更早的阶段检测出癌症的存在，这意味着病人可及时获得必要的治疗，并有更高的治愈机会。

此外，AI 还可用于找出症状、疾病、遗传基因、地理位置等信息中的模式。我们可能发现某人患某种疾病的概率更高，从而在其发病之前预先处理该病症。

图 1.9 展示了使用深度学习对脑部扫描作特征识别的样例。

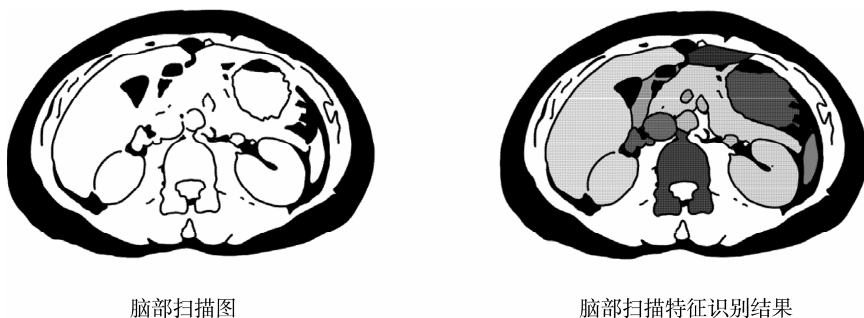


图 1.9 使用机器学习对脑部扫描作特征识别

### 1.5.5 物流：路径规划与优化

物流行业是一个巨大的市场：不同的交通工具能运输不同的商品到不同的地点，满足不同的需要和时间要求。想象一下一家大型电子商务网站的快递规划的复杂程度。不管要递送的物品是终端商品、生产设备、机械部件还是燃料，系统的目标始终是以最佳的方式满足需求并尽量减少费用。

你可能听说过旅行商问题<sup>1</sup>：一个销售员需要访问若干地点来完成工作，算法的目标是找到最短的访问路径。物流问题是类似的，不过因为现实世界的环境不断变化，这类问题需要的算法通常会复杂得多。通过人工智能，我们可求出各个地点之间时间代价与距离代价最优的路径。而且，我们可根据交通状况、施工封锁甚至道路类型和所用交通设备来规划最佳路径。此外，我们还可计算每辆车的最佳装载方式和装载内容物，从而使每次递送都达到最优。

---

<sup>1</sup> 译者注：旅行商问题(Traveling Salesman Problem, 常缩写为 TSP)是一个经典的组合优化问题。经典的 TSP 可被描述为：一个商品推销员要去若干城市推销商品，该推销员从一个城市出发，需要在经过所有城市后回到出发地。应如何选择行进路线以使总的行程最短？它是组合优化中的一个 NP 难问题，在运筹学和理论计算机科学中非常重要。

### 1.5.6 通信：网络优化

通信行业在连接世界方面发挥了巨大的作用。这些公司敷设昂贵的管线、架设铁塔和卫星设施以搭建网络，让千千万万的消费者与机构可通过互联网或私有网络通信。这项设施的运营成本极高，而网络优化工作可在其他条件不变的前提下为我们带来更多的连接，让更多的人能够访问高速网络。人工智能可用于监控网络的行为并优化路由线路。除此之外，这些网络还能记录请求和响应——人工智能算法可利用这些数据，根据具体个人、区域及局域网的已知负载对网络进行优化。通信网络所能记录的数据还包括用户所在位置和身份，人工智能算法可利用这些数据为城市规划提供帮助。

### 1.5.7 游戏：主体创造

自从家用与个人计算机开始被广泛使用以来，游戏已经成为计算机系统的一个卖点。游戏在个人计算机发展史的早期就已开始流行。试着回想一下，我们也许还能记起那些街机、电视游戏机还有具备游戏功能的个人计算机。国际象棋、双陆棋，还有其他游戏已经被人工智能机器所统治。如果一项游戏的复杂度足够低，那么计算机可能穷尽所有玩法，基于此，它可以比人类更快作出决策。最近，计算机已经能在策略游戏围棋中击败人类冠军。围棋有一套简单的区域控制规则，但是要达到胜局就需要非常复杂的思考。计算机不能通过穷举所有可能性来打败人类棋手，因为搜索空间实在是太大了；不过，它可使用一种更具一般性的算法，该算法能为了达到目标而进行抽象“思考”、制定策略、规划行动。这样的算法已经被发明出来，并且打败了世界冠军。经过调整，这一算法也可用于其他领域，例如玩 Atari 游戏<sup>1</sup>和其他现代多人游戏。这个系统叫 AlphaGo。

有些研究机构已经开发出一系列人工智能系统，这些系统玩高度复杂的游戏时表现得比人类玩家(和队伍)还好。这项工作旨在创造出可适应不同场景的一般方法。从表面上看，这些玩游戏的人工智能算法可能对现实世界无关紧要，但是这些系统的开发在一定程度上促使这种方法被有效应用于其他重要的问题空间。图 1.10 展示了强化学习算法如何学习玩“超级玛丽”这样的经典电子游戏。

---

<sup>1</sup> 译者注：1976 年 Atari 公司在美国推出的 Atari 2600 是史上第一部真正意义上的家用游戏主机系统。Atari 2600 游戏机基本上可被称为现代游戏机的始祖。其中经典的游戏包括打砖块、大冒险、碰碰弹子台和爆破彗星等。



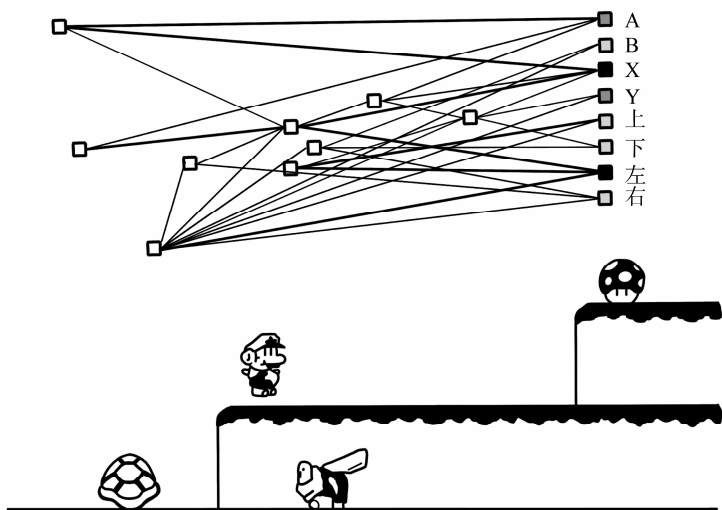


图 1.10 使用神经网络学习如何玩游戏

### 1.5.8 艺术：创造杰出作品

独特又有趣的艺术家们创造了大量美丽的画作。每位艺术家都以其独有的方法来表现周围的世界。另外，大众也非常欣赏那些奇妙的音乐作品。在这两种情况下，艺术的水平不是由数量来衡量的，而是由质量(人们有多欣赏一件作品)来衡量的。当中牵涉的因素难以理解和刻画——艺术的概念往往由情绪来牵引。

许多研究计划旨在设计能生成艺术作品的人工智能算法。这个概念牵涉一定程度的泛化——一个算法需要对艺术主题有广泛而一般的理解才能创造出符合相关参数的东西。例如，一个梵高 AI 需要理解梵高所有的作品并抽取出其风格和“感觉”，才能把它得到的数据应用于其他图像。同样的想法也能应用于医疗、网络安全、金融等其他领域，以提取其中的隐含模式。

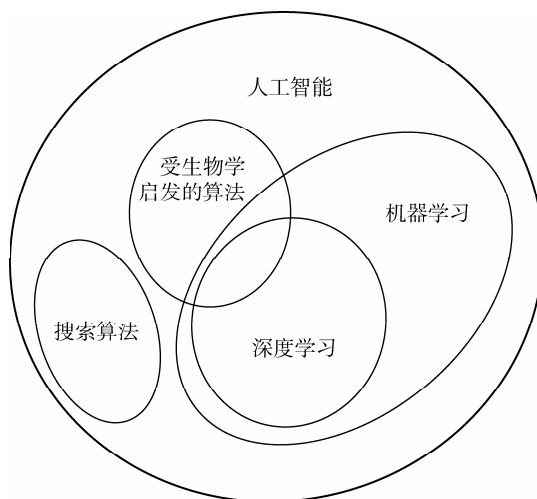
在初步学习了人工智能的概念、人工智能的分类、人工智能试图解决的问题以及一系列应用案例之后，我们将深入学习一种模仿智能的最古老、最简单的形式：搜索算法。搜索算法将为本书后面介绍的其他更复杂的人工智能算法所使用的概念奠定基础。

## 1.6 本章小结

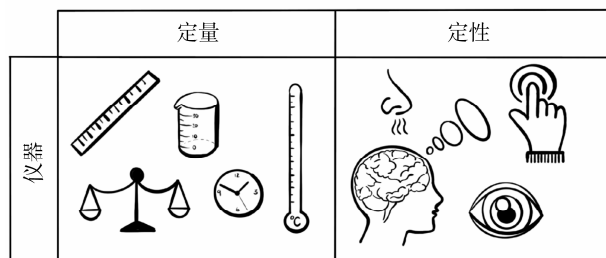
人工智能很难定义。目前人们对其尚不存在清晰的共识。

通常认为展现出一定智能的实现具有类智能特性。

AI 领域包含着许多学科。

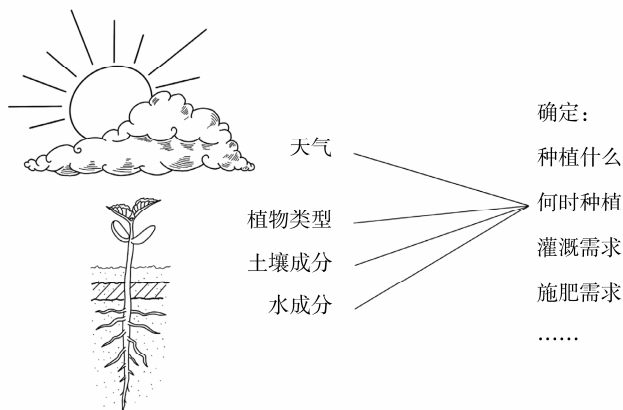


人工智能的实现几乎总有一定的出错率。要谨慎看待这一事实所带来的影响。



数据的质量与准备很重要。

人工智能有许多用途。想想你能用它做什么！





脑部扫描图



脑部扫描特征识别结果

开发算法时，要有负责任的态度。