

THE DIGITAL MIND

# 数字 思维

科学将如何重新定义人类、思维 and 智能？

【葡】阿林多·奥利维拉 (Arlindo Oliveira) 著 胡小锐 译

中信出版集团

# 数字 思维

科学将如何重新定义人类、思维 and 智能？

[葡] 阿林多·奥利维拉 (Arlindo Oliveira) 著 胡小锐 译

THE DIGITAL MIND

How Science Is Redefining Humanity

## 图书在版编目(CIP)数据

数字思维/(葡)阿林多·奥利维拉著;胡小锐译

.--北京:中信出版社,2020.1

书名原文:The Digital Mind: How Science Is

Redefining Humanity

ISBN 978-7-5217-1168-4

I. ①数… II. ①阿… ②胡… III. ①人工智能-普及读物 IV. ①TP18-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第232202号

The Digital Mind: How Science Is Redefining Humanity by Artindo Oliveira

Copyright © 2017 Massachusetts Institute of Technology

Simplified Chinese translation copyright © 2020 by CITIC Press Corporation

ALL RIGHTS RESERVED

本书仅限中国大陆地区发行销售

## 数字思维

著者:[葡]阿林多·奥利维拉

译者:胡小锐

出版发行:中信出版集团股份有限公司

(北京市朝阳区惠新东街甲4号富盛大厦2座 邮编 100029)

承印者:中国电影出版社印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:22 字数:282千字

版次:2020年1月第1版

印次:2020年1月第1次印刷

京权图字:01-2019-5076

广告经营许可证:京朝工商广字第8087号

书号:ISBN 978-7-5217-1168-4

定价:69.00元

版权所有·侵权必究

如有印刷、装订问题,本公司负责调换。

服务热线:400-600-8099

投稿邮箱:author@citicpub.com

献给

安娜·特蕾莎

从物理形态上看，计算机毫无生气；而要把它作为一种能思考的机器来看的话，计算机又不堪重任。我们很久以前或许有过这样的念头，但这本书的作者从未这样想过。在几年以前，甚至是几十年前，我们就听说他经常会打破和谐的对话气氛，独树一帜地提出他自己的观点。他认为，有迹象表明推动生命系统进化的自然过程正在进驻新的数字领域；随着时间的推移，这些迹象变得越发明显，结果也变得越发奇妙。那些（像我一样）被他的独树一帜的想法吓了一跳的人，一直希望听到他说出更多的惊人言论。毕竟，阿林多是这方面的权威。他杰出的学术生涯跨越了从电路设计到机器学习的多个领域，而且越来越多地涉及生物学领域。因此，对于能思考的机器的发展前景，他有很多话要说，就不足为奇了。但是，正如这本书的读者将会发现的那样，它不仅呈现了惊人的言论，而且数量之多远超我们的想象！

作为加州大学伯克利分校计算机科学专业的一名学生，阿林多还辅修了神经科学。在某种程度上，我为他的远见卓识感到庆幸。在我看来，这为他后来的成就奠定了坚实的跨学科基础，但他却一反常态地将他辅修神经科学的举动自谦为年轻时“收效不大”的冲动。事实上，早在那时他就已经对数字思维产生了一些疑问，而且这些疑问永远不会消失。当时，他得到的关于认知的答案根本讲不通。正如你将在这本书中发现的那样，阿

林多乐于推测，同时能给出合理的解释，并交代清楚历史背景。我指的不是在理论上可解释，而是指有线索可循，最终的原因都能归结到包含其中的电路上。作为一名生物学家，这种无法抗拒的冲动是我们熟悉的。对复杂过程的理解总是包含多个层级的成分，从基因到细胞，最后一直到生态系统。同样的系统性原则引导着这次通往数字思维的旅程。光是巧妙地讲故事，肯定“收效不大”。

现在，我们发现一场数字风暴席卷了我们，我们的所有感知和行为都处于这场风暴的笼罩之下。新型设备以及为之提供支持的云服务平台限定了我们的交流方式，也限定了我们的活动范围。更重要的是，在我们更加专注地思考时，这种数字机器会大大拓展我们的视野。现在，神经科学通过先天和经验学习建立的模型来预测感觉输入，对大脑如何计算这个问题有了更深入的了解。正如人们预期的那样，递归是对数字机器的一个考验，而思考如何感知传感器同样会充分调动我们的思维。在涉及有意识的计算时，有机和无机之间的界限显然不再会引发分歧。说到有意识的计算，你可能会又一次以国际象棋或围棋为借口，寻找与阿林多进行这些对话的机会（不要抱太大希望！）。关于这些问题，他已经在计算领域探索和实践了几十年，他应该就此写一本书……

我本打算在最后一段为我的这篇推荐序画上一个完美的句号。但令人意想不到的是，阿林多在这本书的最后两章讨论了我们该何去何从的问题。在探讨了数字意识的可能含义和这个进程必然展现的前景这两个问题之后，这两章并未就此打住，而是继续深入下去。这本书是按时间顺序写作的，就像小说一样，所以在这里我不会剧透。犹如阅读任何一本好书，我们不仅要回答作者提出的问题，还要回答我们自己的问题。就我个人而言，我不禁认为数字生物和数字思维的出现，也是推动生物进化迈向更复杂结构的内衡驱力（homeostatic drive）的一部分。要构建数字机器并让它

处理复杂世界中难以预测的变化，除了让它学会思考之外，还有什么其他更好的方法吗？正如这本书中解释的那样，思维可能是必然的结果，包括数字思维和其他思维。相反，物理学家可能更倾向于看到更多原子载体的信息属性的表征。无论如何，我们当前的数字化更像一颗种子，必将孕育出一个更加智慧的数字未来。

最后，我要提醒大家，如果你家里有十几岁的孩子，在把这本书推荐给家人之前，你自己一定要先读完。这本书可能会让我们感到不舒服，但它其实是为新生代写的。根据我的孩子的表现，他们可能会在这本书中找到一度困扰他们的问题的答案，即我们是如何让他们陷入数字化困境的。在这种情况下，他们会像我们一样困惑不解，不知道人类为什么对这个奇妙而不可避免的结果毫无察觉。换句话说，如果这本书到了孩子的手里，你可能就很难拿回来了。

乔纳斯·阿尔梅达

美国石溪大学生物信息学家

看似毫不相干的计算机科学、生物学和神经科学一直吸引着我，并以这样或那样的方式影响着我的生活和职业选择。细心的读者会注意到，本书简直就是一个大拼盘，里面有关于这些学科的很多想法——我在过去30年中遇到的各种各样的想法。这些想法大多来自我结识的多位才华横溢的作家、科学家和哲学家，有的想法是他们与我面对面时提出的，但大多是通过他们的作品表达出来的。

本书在某种程度上似乎有些多余，因为要理解书中讨论的主题，我们可以直接搜索原始资料。尽管如此，我相信没有多少人拥有像我一样的人生经历，也没有多少人像我一样有幸去过那些迷人的地方、接触过那些有趣的思想家和概念。

我很早就迷恋上了数学和科学。我总想弄清楚各种事物的工作原理，而学习科学似乎能让我在养家糊口的同时，还可以做我喜欢的事。小时候的我对科学很痴迷，有好几年我都在折腾我的那些化学实验装置。当时“安全化学装置”的概念尚未提出，我每天都会想些新方法合成化学物质，希望可以制造出炸药或其他危险的化合物。由于没有人指导我们的化学探索活动，所以烧瓶、试管、烧杯和其他化学仪器经常会出于破裂、崩解、爆炸或其他原因而变成一堆垃圾，但这个过程为我和我的朋友提供了无尽的乐趣。此外，对我们来说，这似乎就是科学。



之后几年里，我买了一些图书、杂志，尝试自己制作一些电子产品。第一次组装电子电路时，我因为一无所知而吃尽苦头。我买回来一个个电子元件，然后照着示意图一步步组装。画这些示意图的人都是行家，而一窍不通的我根本看不懂。

20世纪70年代末，市面上出现了非常原始版本的个人电脑。在买了几台比较原始的机器之后，我自豪地拥有了一台辛克莱ZX Spectrum计算机。这种小型个人电脑拥有48千字节的存储器和集成键盘，堪称当时的一个技术奇迹。它用一台电视机作为显示器，可以用Basic（培基，一种直译式程序设计语言）编程。它没有永久性存储器，新程序都必须保存在标准磁带录音机使用的磁带上。通常情况下，由于磁带和录音机的质量问题，我保存的程序都无法再次调用，但我仍然会投入大量时间编写程序。ZX Spectrum帮助我迈出了编程的第一步，我也自此与计算机结下了不解之缘。

在葡萄牙里斯本高等理工学院学完电气工程后，我专攻数字电路设计，这个领域当时还处于起步阶段，与许多其他通信和信息技术并行发展。具体来说，我从事的是超大规模集成电路（VLSI）的相关研究。超大规模集成电路是一个通用术语，指包含很多设备的集成电路。在极具影响力的科学家、政治家何塞·马里亚诺·加戈的主持下，葡萄牙与欧洲核子研究组织（CERN）签署了一项协议。因为这项协议，我得到了一个在日内瓦的暑期实习机会。在欧洲核子研究组织实习期间，我借助控制粒子物理实验中的高能粒子束的设备，测试了我的编程技能，并感受到物理学界对寻找支配宇宙的法则充满了热情。在日内瓦的那个夏天，我对粒子物理学的兴趣更加浓厚了。

在欧洲核子研究组织的实习结束之后，我觉得有必要进一步了解正在快速发展的数字电路领域的动向。于是，我向加州大学伯克利分校提出

入学申请并被录取。这所大学擅长开发设计集成电路所需的新工具、电路和技术。在那里，我进入了集成电路设计的技术新天地，其中有很多新技术都是CAD（计算机辅助设计）小组开发的，他们当时的负责人是阿尔贝托·圣乔瓦尼-文森泰利（我的导师）、罗伯特·布雷顿和理查德·纽顿。加州大学伯克利分校在很多领域都不乏顶尖人才，这让我有机会去了解我不熟悉的领域。其中有两个领域吸引了我，并明确了我未来的学习方向——算法和神经科学。

我在加州大学伯克利分校跟着理查德·卡普学习算法，他是算法和复杂性理论的创建者之一。建立可用于设计集成电路的算法是加州大学伯克利分校CAD小组的任务，集成电路的设计人员使用算法去创建、验证、模拟、放置和连接晶体管，晶体管是所有电子器件的工作单元。如果没有这些复杂的算法，今天的集成电路就无法设计和制造出来。

在加州大学伯克利分校，我也有机会了解到另一个即将与算法和计算机产生密切联系的领域——神经科学。我辅修了神经科学，努力掌握了一些进化、神经元和大脑方面的知识，但这足以让神经科学研究成为我的另一大爱好。当时，一些计算机科学家已经着手开发处理生物数据的算法，这个领域后来被称为生物信息学。基于我的兴趣，开发解决生物学问题的算法对我而言是一个显而易见的选择。多年来，我在这个领域做出了一些贡献。

最近，我有幸评审了人类脑计划（Human Brain Project）的一些提案。这些提案涵盖脑模拟、生物信息学和脑治疗等多个领域，让我越发意识到这些领域之间的联系的重要性。人类脑计划的目标是，使用计算机来支持脑研究。从某种程度上说，随着计算机在理解人脑这一核心问题上的应用，我的科学之旅绕了一圈后又回到了原点。

这趟旅程受到了很多人的影响。我的导师、同事和学生陪伴着我，与

我一起工作，并在我取得的几个相关科学成果中发挥了重要作用。曾经和我一起工作的同事现在遍布世界各地，与他们的交流对我产生了无法用语言描述的影响。

不过，我认为在这几十年里对我影响最大的可能还是我读过的那些书，其中有几本深刻地改变了我对世界的认知，如果没有它们，我的生活肯定会与现在大不相同。当然，如果没有在我之前的许多作者对计算、进化、智能和意识之间关系的探索，就不可能有你们现在读的这本书。

对我产生过影响的人有很多，其中有一些作者值得我在这里列出他们的名字。理查德·道金斯和史蒂芬·杰伊·古尔德让我见识到进化的奇迹。丹尼尔·丹尼特和侯世达是我从事人工智能研究的领路人，激发了我对大脑、思维和意识问题的兴趣。戴维·休伯尔清晰地描述了大脑的某些区域的组织方式，让人觉得只要多付出一点儿努力，就可以解释整个大脑的行为。史蒂芬·平克、马文·明斯基和罗杰·彭罗斯深刻地影响了我对人类思维的运转方式和智能的含义的看法，尽管在某些方面我不同意他们的观点。凯文·凯利对技术前景的想法，以及雷·库兹韦尔对技术奇点的坚定信念，也对我产生了强烈的影响。詹姆斯·沃森和约翰·克雷格·温特为我提供了关于生物科学过去50年的发展历程的独到见解。埃里克·德雷克斯勒对纳米技术前景的展望，改变了我对“非常小”的概念和对世界的看法。承现峻、奥拉夫·斯波恩斯和史蒂文·罗斯对他们参与的旨在理解大脑的项目描述，使我受到极大的启发和鼓舞。尼克·博斯特罗姆解决了本书涉及的许多问题，并且以我做梦也想不到的方式做了进一步拓展。贾雷德·戴蒙德和尤瓦尔·赫拉利深刻改变了我看待人类历史和人类进化的方式。

科幻小说也对我产生了强烈影响，我是一个狂热的科幻小说读者。艾萨克·阿西莫夫、亚瑟·克拉克和罗伯特·海因莱因，让我对科幻小说产生

了持久的兴趣。格雷格·伊根、弗诺·文奇、尼尔·斯蒂芬森、拉里·尼文和查尔斯·斯特罗斯对未来的展望如此清晰且富有挑战性，以至于人们很容易相信它们总有一天会发生，尽管它们奇怪又令人不安。

我竭力让所有对本书谈论的话题感兴趣的人，都能轻松地读懂它。本书的目标读者是对科学和技术感兴趣的普通人，不需要事先对本书涵盖的诸多领域的知识有所了解。最后三章不包含任何技术相关内容，它们呈现了本书的中心论点，可以独立阅读。

缺乏技术背景的读者不必因为偶尔出现的方程式、图表和数学论证而沮丧。我会尽可能地提供充足的信息来帮助你们掌握一些技术细节，但在大多数情况下，你们可以通过这些附带的解释来掌握本书的核心思想，就算略过细节也不会遗漏任何重要信息。

## / 目 录

推荐序 / V

序 言 / IX

### 第 1 章 快速奔跑的红皇后 / 001

万事万物皆相互关联 / 003

老年人很难适应新事物 / 005

从计算机和算法到细胞和神经元 / 008

### 第 2 章 技术的指数性质 / 013

史前技术 / 015

第一次和第二次工业革命 / 017

第三次工业革命 / 019

指数趋势的惊人性质 / 023

出生在计算机时代 / 029

### 第 3 章 从麦克斯韦到互联网 / 031

改变世界的 4 个方程 / 033

物理学的世纪 / 038

晶体管、芯片和微处理器 / 042

互联网的崛起 / 053

数字经济 / 055

#### 第4章 通用计算机 / 061

分析机 / 063

图灵机和计算机 / 066

可计算性和无穷悖论 / 072

算法和复杂性 / 082

丘奇-图灵论题 / 092

#### 第5章 智能机器的探索之旅 / 095

人工智能 / 097

机器学习 / 105

感知器和人工神经网络 / 114

贝叶斯公式 / 121

大脑、统计学和学习 / 126

#### 第6章 细胞、身体和大脑 / 129

终极算法 / 131

细胞和基因组 / 141

身体和大脑 / 152

#### 第7章 生物学与计算机的美妙邂逅 / 157

基因组测序 / 159

生物网络 / 167

生物系统建模与仿真 / 170

数字动物 / 176

合成生物学 / 178

**第 8 章 大脑是如何工作的 / 183**

神经元是如何工作的 / 187

大脑的结构和组织 / 194

大脑的发育 / 199

可塑性、学习和记忆 / 202

**第 9 章 理解大脑 / 207**

脑成像技术 / 211

脑网络图谱 / 226

显微术和脑组织切片 / 227

脑模拟和超级计算机 / 232

**第 10 章 智能、思维和机器 / 237**

合成智能 / 243

神经形态智能系统 / 252

全脑仿真 / 255

意识之谜 / 263

**第 11 章 挑战和希望 / 273**

公民权利 / 275

原件、副本和复制品 / 278

时间旅行、备份和回退 / 283

生活在虚拟现实之中 / 287

人格手术和其他改进方法 / 291

**第 12 章 关于未来的种种猜想 / 295**

技术奇点 / 297

奇点之后，是生是死？ / 302

超级智能的风险 / 304

外星文明在哪里？ / 306

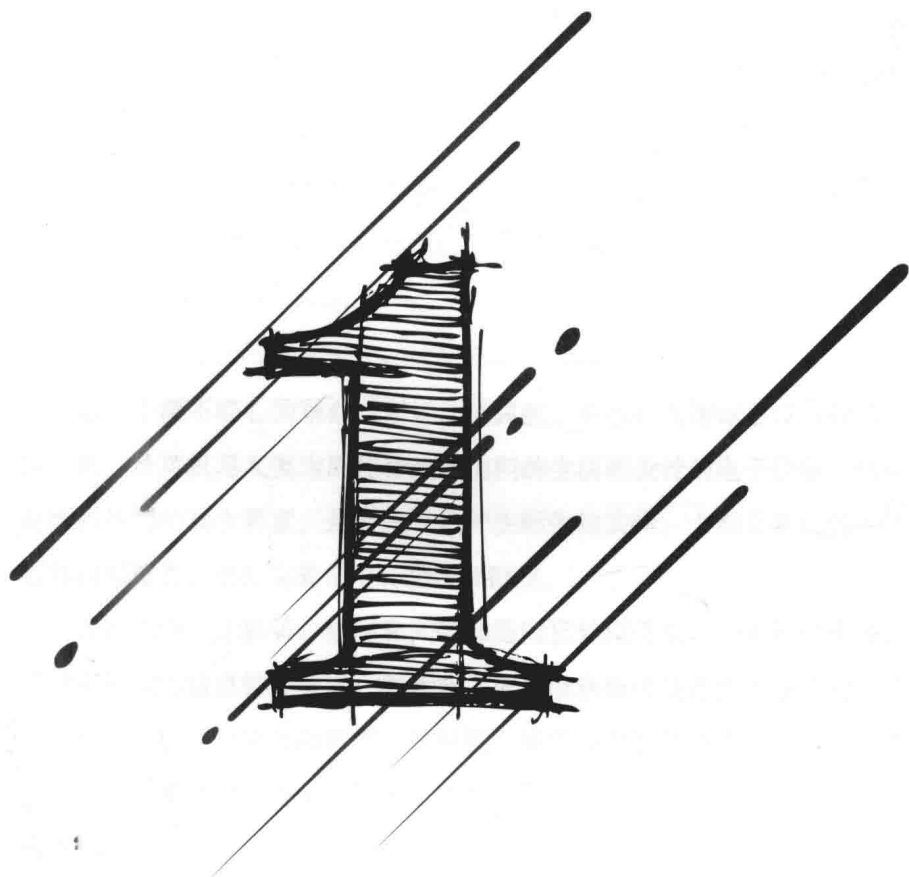
致 谢 / 311

延伸阅读 / 313

参考文献 / 319

;





## 第1章 快速奔跑的红皇后