

大脑、机器和数学

[美] M. A. 阿尔贝勃 著

0811

商 务 印 书 馆

大脑、机器和数学

[美] M. A. 阿尔贝勃 著

朱熹豪 金观涛 译

吴允曾 校

商 务 印 书 馆

1982年·北京

Michael A. Arbib
**BRAINS, MACHINES,
AND MATHEMATICS**

McGraw-Hill Inc. 1964.

本书据美国麦克格劳-希尔图书公司 1964 年版译出

大脑、机器和数学

〔美〕M. A. 阿尔贝勃 著

朱熹豪 金观涛 译

吴 允 曾 校

商 务 印 书 馆 出 版

(北京王府井大街 36 号)

新华书店北京发行所发行

北京第二新华印刷厂印刷

统一书号: 2017 · 277

1982 年 3 月第 1 版

开本 850×1168 1/32

1982 年 3 月北京第 1 次印刷

字数 103 千

印数 11,200 册

印张 4 1/2

定价: 0.60 元

译者序

控制论、系统论、信息论已经成为现代生活的一部分，人们经常可以在各种书本上看到这些名词。但是，只有为数不多的专家才了解这些学科的内容和意义。而且，由于这些学科领域极为宽广，即使对于专家来说，也往往只能熟悉其中的一部分，搞数理逻辑的常常对生物控制论所知寥寥，搞工程控制的对自动机理论也可能是门外汉。这种情况造成了一些麻烦。想从思想方法上鸟瞰现代控制论、系统论和信息论并研究其哲学问题的人往往苦于找不到一本适于作为他们进行研究的基础的读物，大学生们在深入研究某一领域以前，也常常会感到抓不住这些学科的要点，搞不清它们的轮廓。正因为如此，我们把阿尔贝勃的《大脑、机器和数学》介绍给读者。这是一本好书，作者以短短几万字的篇幅就把整个现代控制论领域纵深展现在读者面前，做到这一点是很不容易的。对那些想了解控制论的全貌，读通俗读物又感到不过瘾的读者，这本书或许能满足他们的要求。

作者 M. 阿尔贝勃当过美国斯坦福大学计算机和信息科学系的教授、系主任，现为马萨诸塞州立大学教授。他是维纳的学生，在麻省理工学院取得数学博士学位后，从事控制论研究，主要课题包括大脑模型、复杂系统的信息过程，自动机和系统理论、神经生理学和心理学以及计算机科学对社会的影响等。他对控制论的研究既深且广。在本书中，作者对自动机数学理论、生物控制论、神经系统模型、人工智能、图象识别、信息论、古典控制理论以及哥德尔理论和元数学这些现代控制理论的主要领域都作了介绍。其中

有些介绍深入而又浅出,既可供初学者入门,也能为研究者作深入研究提供帮助。全书写得最好的是哥德尔不完全性定理一章。这个定理是杰出的数学家哥德尔在本世纪三十年代提出来的。哥德尔证明了,对于一个逻辑体系来说,如果它是完全的,那么必定包含自相矛盾的命题;反过来,一个无矛盾的逻辑系统必定是不完全的,必定有一些命题是在这个逻辑系统内部得不到证明即不能判断其真伪的。哥德尔的定理是亚里士多德以来对逻辑学的最大贡献。这个定理有划时代的意义,它象明灯一样照耀着数学家和哲学家,对数学和哲学都有极为深远的影响。几十年来,哥德尔定理和有关的数理逻辑定理逐渐发展成元数学和图林机理论等等,成为现代控制论基础的一部分。长期以来,国内大多数哲学工作者对这一领域是比较陌生的。五十年代我国也有人跟在苏联学者后面错把哥德尔定理看作机器不能思维的根据。犯这类错误的根源之一就是一些哲学家从来没有真正搞懂哥德尔定理的内容。一方面,这和哥德尔定理本身极其抽象、深奥有关,另一方面,到目前为止国内也还没有一本书向读者比较详细地介绍哥德尔定理。阿尔贝勃的这本书能以一、二万字的篇幅对哥德尔定理的内容和哲学意义作出精到的介绍,对我国的读者将是很有价值的。

当然,本书也存在一些缺点,比如专业词汇过多;作者的很多论述尚未摆脱数学和形式化的外壳;有的地方直接引用文献,使初学者很难一下子掌握。各章节之间也缺乏有机的联系。尽管如此,这本书还不失为值得一读的好书,而本书的这些缺点正反映了现代控制论系统论的发展现状。

如果我们研究一下现代控制论的理论发展线索,大约可以看到三个阶段。第一阶段是本世纪三十年代到四十年代末,控制论处于蕴育诞生阶段。第二次世界大战刺激了科学技术的迅速发展,发展了自动控制系统和通讯系统,产生了信息论,造出了电子

计算机。战后,信息论、数理逻辑、计算机理论、神经生理学等学科汇流融合,产生了一门新的边缘科学——控制论。维纳的《控制论》一书宣告了控制论的诞生,也是这一阶段的代表作。这个阶段的理论控制论的许多特点绝妙地反映在维纳的这本书里。维纳的《控制论》以自己新颖的思想方法,大胆而丰富的想象力,科学和哲学的交融以及对未来的深邃的洞察,给一代人留下了深刻的印象。不过也正如许多人指出的那样,这本书里也有很多错误,有一些故弄玄虚的陷阱,一些毫无关系的概念的捏合,也有不少现在看来不那么确切的论述。这些优点和缺点正反映了当时控制论刚刚诞生的状况。这个处女地的第一批开拓者既沉醉于它的美丽,同时对它又只有朦胧的感觉而缺乏明晰的认识。但是,也许正是维纳这本书的这些特点展现了控制论的魅力,从而吸引了一大批研究者。到本世纪五十年代,这门科学便脱离了它的发展的初级阶段,进入了蓬勃发展的第二个阶段。

五十年代和六十年代是控制论迅速发展的年代,也是经历曲折的年代。在这一阶段控制论得到广泛的应用。在短短十几年中,它一下子越出了同行们的狭小的圈子,在社会上掀起了一股巨大的浪潮,形成一股控制论热。它渗透到生物学、生理学、化学、数学、工程各个学科,冲击了经济学、哲学、心理学和社会科学的广阔领域。在哲学和方法论方面,专家们发现结构主义和行为主义等哲学思想的合理内核从控制论系统论的角度来看是明确而又显然的,控制论可以用一种简洁准确的形式来描述和把握它们。控制论和系统论向经济学、社会学和行为科学这些原来人们认为很难数学化的学科中渗透,使许多问题顿时变得明晰起来,大大加快了在这些学科中构造模型和进行定量分析研究的步伐。这十几年中发展最快的还是生物控制论。人们对大脑、神经系统、行为、心理都作了广泛而深入的研究,努力模拟这些对象,使许多问题精确化

了。自适应系统、自组织系统、超稳态、学习机、图象识别、人工智能等等是大家关注的研究课题。伴随着计算机的飞速发展，这些课题有了不少突破，有的已经开始得到应用。维纳书中讲到的领域这一阶段都有了发展，还开拓了不少新的领域。要列举这一阶段的代表作是比较困难的。但如果我们要求不太高的话，那么艾什比的工作，他的《大脑设计》、《控制论导论》等著作以及一系列论文应该是能反映第二阶段的精神的。他的著作以深刻的思想，广泛而清新的视野给人留下很深的印象。艾什比的思路培养了一代控制论专家，这些专家目前正是现代控制论研究的骨干。当然这一阶段控制论的研究也犯了不少错误，它常常被人滥用，被一些不高明的理论家用来当作时髦的包装品，被某些人当作万应灵药。控制论概念的不够明确也造成了一些误解。因此保守的人们往往把控制论比为占星术和伪科学。但这一切并不妨碍控制论在这十几年中不断取得进展。随着控制论在各个领域中大显神通，也必然发生了一种不可避免的越来越专业化的倾向，它的一般方法被支解了，被一些具体学科所取代了。这是和维纳的“科学是统一的”思想背道而驰的。这种专业化倾向十分强烈，以至有人开始怀疑，作为边缘学科的控制论有没有存在的必要。有人主张，实际上只有控制论的具体应用，只有信息论、仿生学、生物控制论、计算机科学等等具体学科，而没有一个一般的控制论；也有人将控制论就局限于研究反馈的科学。当时对控制论的各种不同的定义就反映了这种众说纷纭的情况。还有一部分人坚持维纳的看法，对统一的现代控制论和它的前途充满信心，本书作者就是其中之一。

自六十年代中叶以来，控制论的发展进入了第三阶段。经过十几年的探索和研究，很多人又回到了维纳当时的立场，感到统一的现代控制论方法是存在的。但是现在人们讲这一点，已经比维纳要充实得多、精确得多了，因为控制论的理论和应用已经在各个

方面充分展开了。在控制论的自动机理论、元数学、人工智能、信息论等比较成熟的分支中，人们已经可以隐隐感到有一种统一的基础存在，这种基础就是现代控制论作为一种科学方法论和科学哲学存在的灵魂。四十年代出现的一般系统论也反映出人们对于科学中存在一种统一的基础的认识。不过现代控制论的基础到底是什么，人们至今还在探索，还没有成熟的结论，系统论和控制论有什么异同，它们是不是同一门科学或者谁包含谁，也仍然是大家正在探讨的问题。企图统一而又没有完成统一的著作必然会给人支离破碎的感觉，读者如果从这一角度去看阿尔贝勃这本书，它的许多缺点就很容易理解了。

特别值得专门提一提的是现代控制论在社会科学方面的应用。在维纳时代，科学家对于控制论能否用来研究社会科学往往是持怀疑态度的，维纳本人就认为社会现象的统计游程太短，用控制论方法也许没有意义。五十年代初控制论热中有人滥用控制论，也造成了一些不好的影响。但是在这三十年中，许多人一直在尝试把控制论用于社会科学，并且逐步取得进展，特别是七十年代中期以后，控制论在社会科学中得到越来越广泛的应用。这一潮流正以它特有的魅力吸引着世界各国的年轻工作者，包括社会科学工作者和自然科学工作者，继续进行各种科学探索。最近几年几次关于控制论的国际会议的主题都是控制论和社会科学，如国际控制论和系统会议1975年布加勒斯特会议的主题是“控制论和经济科学”，1978年阿姆斯特丹会议的主题是“控制论和社会”，这一题目也是1980年维纳奖的论文题目，就反映了这一潮流。一方面，控制论和计算机等新技术结合起来，造成了新的工业革命，促进了生产和科学技术的发展，改变了人们的生活，对社会产生了巨大的冲击，从而在某种程度上改变了社会科学的研究对象；另一方面，控制论对哲学和社会科学的概念、研究方法也产生了巨大的冲击

和影响;同时,计算机的广泛应用也为更精确的定量研究社会提供了物质基础。可以预期,控制论在社会科学中的应用是大有前途的。

控制论我国的传播是富有戏剧性的。众所周知,五十年代控制论思想对苏联和东欧的哲学思想形成了一次巨大的冲击,控制论曾被当作伪科学大受鞭挞,后来才扭转了这种倾向,承认了控制论在科学中的地位和它对发展马克思主义哲学的重大意义。在我国,一直到六十年代,第一批控制论著作才翻译介绍进来。不久,我国学术界对控制论的探讨又陷于中断。直到最近几年,控制论和系统论才被国内广大读者所知晓,但是对它们的介绍还局限在科普文章和专业文章中,系统介绍的书还没有。因此我们希望这本书能有助于读者理解控制论,对控制论思想的传播起一点作用。

译 者

一九八一·六·

序 言

本书是研究大脑、机器和数学这三者的共同基础的引论。我们运用数学研究大脑和控制-计算-通讯机器之间的共同点。本书是为那些听说过象控制论、信息论和哥德尔理论等近代科学分支又想理解得比通俗读物讲的更深一点的读者写的。读者读完本书后不仅能知其然，还能知其所以然。书的篇幅写得不长，这样初读者只要花一两个晚上就能通读一遍。本书涉及面很广，愿意进一步研究的读者在书中可以找到供深入阅读用的文献索引。要完全吃透这本书的内容需要相当的现代数学基础，大约学过一年微积分的水平。本书大部分内容对于一个打算跳过其中的数学证明的读者也是可以读懂的，完全不需要事先研究过生物学和计算机。

在介绍本书内容之前我先稍微谈谈神经生理学和我们模型的性质所达到的现状。

在过去几十年中，随着微电极、电子显微镜和放射性同位素示踪的应用，神经生理学知识有了很大的发展。甚至大部头的《神经生理学手册》都不能完整无遗地概括已有的事实。因为技术进步，发现了更精细的结构或尚有争议的细胞电化学机制，许多曾经被广泛接受的神经生理学理论都变得成问题了。因此本书提出的数学模型是基于对大脑和中枢神经系统极为简化的认识之上的。读者自然要问这些研究有多大价值呢？

大脑有很多特性，象记忆、计算、学习、目的性和在元件失灵时仍能保持整体的可靠性等等，是很难仅仅归成一种机制的。因此我们的研究就有了其存在的充分理由：我们可以构造出一种数学

模型来证明,仅仅有电化学机制就能有上述性质。换句话说,我们在“从机器中赶走鬼魂”方面作了一点工作。这虽然谈不上模拟大脑的真实机制,但至少是模拟了它的一种可能的机制,这就是一种了不起的进步。

这样的研究还有更深的理由:物理学中许多伟大的进展都来源于数学推理和实验的结合。近三百年来数学首先是应用数学也由于物理学的需要而大大发展了,但纯数学也间接地从应用数学(常常由于追求理论的优美性而不去注意任何具体的实际应用)中抽象出新的概念而不断发展。本书强使这些基本上仍属物理学家所用的数学来帮助我们逐渐理解大脑和它的电化学过程。这样才能使目前处于朦胧的晨曦中的生物数学有朝一日能成为纯数学的全新的和令人振奋的系统。在这本书中我们从上述前提出发运用数学导出影响深远的结论。我们能通过将其表达成数学形式和运用数学工具证明一般定理来检验大脑模型是否正确。如果不对,也能发现定理和实验间的差异,回过头来修改前提条件,这样最终可以进一步理解大脑工作原理。这样的理论还将能指导我们建造更有用、更复杂的机器。

这些数学方法本身的美使我们得以证明我们的模型具有普遍性,并且为用导线和试管之类实验手段实现这些模拟提供了有力的基础。

生物系统通常比物理系统要复杂得多,因此我们不能要求几年中就出现令人满意的生物数学。然而这些探索是十分真实十分重要的。本书力图将读者引入这个领域,不过这一阶段的工作还不甚成熟。我希望读者会对书中的结果感兴趣。它们仅仅是正在研究的课题中的很小一部分,不过探索的开端往往比探索本身还要吸引人。我当然不相信数学会解决生理学 and 心理学的一切问题,但是我相信数学推导方法在理解大脑方面也一定会和神经生

理学和心理学的实验与临床研究一样重要，就象数学方法已经帮助电气工程师造出了计算机一样。虽然计算机比生物体在复杂程度上要低许多数量级，但是，至今它还是大脑最好的模型。

现在我们来说明一下本书的内容安排。

首先我们阐述神经生理学，并用它来构造大脑的第一个粗略的模型即麦克卡洛克-匹茨神经网络。我们将考察一下用这种网络构成的电子计算机能作些什么。我们要研究这种网络和有限自动机及图林机的关系；从介绍青蛙视觉系统的工作原理着手来看大脑的复杂结构，并研究感知器(学习机)。然后谈谈神经元功能发生故障的神经病学证据。这将表明，理解怎样设计在元件失灵时整体功能仍然可靠的网络是十分重要的。我们先简介一下冯·诺意曼的早期工作，然后研究申农的通讯理论。接着我们就可以讨论柯伐-维诺格拉特是怎样解决可靠性问题的。然后我们研究维纳的控制论——动物和机器中的通讯和控制的理论。我们将阐述反馈的基本概念及其在神经系统功能方面得到的一些结果，然后介绍一下格林提出的神经网络中的共振频率的方案，它能防止我们把麦克卡洛克-匹茨模型和真实的大脑等同起来。然后讨论稳态和假肢，接着我们将研究格式塔和普遍概念的识别，即我们是怎样听和看的。最后一章介绍哥德尔不完全性定理。我们从谈数学思想的历史趋势转到哥德尔的工作，证明了一些定理，讨论它们那些对数学基础来说富有戏剧性的哲学结论，最后看看它对于解决大脑和机器的差别的争论有什么意义。

本书是根据 1962 年 7—8 月间在澳大利亚悉尼新南威尔士大学的演讲稿修改而成的。我首先要感谢 John Blatt 邀请我作客座讲师，Derek Broodbent 邀请我作这些讲座，Joyce Kean 为本讲稿打字作了很好的工作。

我曾在麻省理工学院数学和电机二系的实验室当过两年助教

(由美国陆军和卫生部支持)。我一直对那里的许多同事深为感激，在这里不一一列举。特别要感谢的是 Warren McCulloch 先生，他一直帮助我，鼓励我。George W. Zopf 先生第一个敦促我发表这个讲稿。Bill Kilmer 先生给讲稿很大的帮助，提出了很多意见。多年来我深受他的帮助。他甚至这样说，如果书中还残留一些错误的话，他可以负责。我深感他的好意，但书中的错误当然应由我自己负责。

最后，让我对为本书提供各种引文和资料的作者、出版者表示深深的谢意。

M. A. 阿尔贝勃

目 录

序 言	3
第一章 神经网络、有限自动机和图林机	7
1.1 从神经生理学谈起	7
1.2 麦克卡洛克-匹茨模型	10
1.3 有限自动机和抽象神经元网络	12
1.4 有限自动机和数字计算机	15
1.5 图林机	19
1.6 图林假说和递归集合	23
1.7 正则事件和可实现事件	28
第一章文献	32
第二章 结构和随机性	35
2.1 青蛙的视觉系统	35
2.1.1 一些比较	42
2.2 感知器(学习机)	43
2.3 结构和随机性的对立	48
第三章 通讯和计算中的误差校正	51
3.1 由不可靠的神经元构成可靠的大脑	51
3.2 冯·诺意曼的多路传输方案	55
3.3 申农的通讯理论	59
3.3.1 信息的测度	62
3.3.2 信源和信道的模型	64
3.3.3 疑义度和信道容量	67

3.3.4 申农关于有噪声离散信道的基本定理	69
3.3.5 编码	72
3.4 通讯理论和自动机	75
3.5 柯伐-维诺格拉德的可靠自动机理论	78
 第四章 控制论	 87
4.1 反馈与振荡	87
4.2 神经网络中的应答频率	92
4.3 假肢和内稳态	98
4.4 格式塔和普遍概念	100
4.5 一些未来的课题	105
 第五章 哥德尔不完全性理论	 109
5.1 数学的基础	109
5.2 回顾递归概念	112
5.3 递归逻辑	113
5.4 算术逻辑	117
5.5 哥德尔不完全性定理的证明	124
5.6 大脑-机器的争论	125
 跋	 128
附录 集合论的基本概念	130

目 录

序 言	3
第一章 神经网络、有限自动机和图林机	7
1.1 从神经生理学谈起	7
1.2 麦克卡洛克-匹茨模型	10
1.3 有限自动机和抽象神经元网络	12
1.4 有限自动机和数字计算机	15
1.5 图林机	19
1.6 图林假说和递归集合	23
1.7 正则事件和可实现事件	28
第一章文献	32
第二章 结构和随机性	35
2.1 青蛙的视觉系统	35
2.1.1 一些比较	42
2.2 感知器(学习机)	43
2.3 结构和随机性的对立	48
第三章 通讯和计算中的误差校正	51
3.1 由不可靠的神经元构成可靠的大脑	51
3.2 冯·诺意曼的多路传输方案	55
3.3 申农的通讯理论	59
3.3.1 信息的测度	62
3.3.2 信源和信道的模型	64
3.3.3 疑义度和信道容量	67

3.3.4 申农关于有噪声离散信道的基本定理	69
3.3.5 编码	72
3.4 通讯理论和自动机	75
3.5 柯伐-维诺格拉德的可靠自动机理论	78
 第四章 控制论	 87
4.1 反馈与振荡	87
4.2 神经网络中的应答频率	92
4.3 假肢和内稳态	98
4.4 格式塔和普遍概念	100
4.5 一些未来的课题	105
 第五章 哥德尔不完全性理论	 109
5.1 数学的基础	109
5.2 回顾递归概念	112
5.3 递归逻辑	113
5.4 算术逻辑	117
5.5 哥德尔不完全性定理的证明	124
5.6 大脑-机器的争论	125
 跋	 128
附录 集合论的基本概念	130