A.R.列尔涅尔 著

控制论基础

科学出版社

控 制 论 基 础

A. Я. 列尔涅尔 著

刘定一 译

高为炳 校

1108353

1980.6.

图书館藏

科学出版社

1980

Dt81/03

内 容 简 介

本书以深入浅出的语言介绍现代控制论的主要概念和方法．内容包括现代控制论几乎所有的领域：动态系统的自动控制与最优控制、自动机、计算机、对策论、信息论、运筹、排队、巨大系统和生物系统的控制，等等．读者不必具备高深的数学，就能阅读本书．为使读者便于理解本书的内容，每章后面附有问题和解答，书末有进一步阅读的书目．

读者对象为教师、学生、干部、医生和工程技术人员．

A. Ya. Lerner

FUNDAMENTALS OF CYBERNETICS

Chapman and Hall, 1972

控 制 论 基 础

A. Я. 列尔涅尔 著

刘定一 译

高为炳 校

*

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售

*

1980年4月第一版　开本：787×1092 1/32

1980年4月第一次印刷　印张：10 5/8

印数：0001—15,580　字数：240,000

统一书号：13031·1205

本社书号：1680·13—1

定价：1.10 元

英译本校者前言

A. Я. 列尔涅尔（Лернер）教授的俄文原本是出色的，在校阅译本时我力求确保英译文明白晓畅．在翻译中，译者考虑周详，使用了目前实用的日常英语．目的是在保持每个技术细节的同时，也保持作者意思的完整性．

这本书名叫《控制论基础》，它是名副其实的．顺便补充一句，虽然本书成功地包括了控制论的绝大部分题材，但它不能不是从一个特殊观点出发的．本书所取的观点是工程师和应用数学家的观点．书中极为强调控制理论，虽然它小心地避开了详细的数学分析，但仍包含一定数量的式子，从而详细阐释了文字的叙述．这些式子是有关控制作用的数学描述，一般可以略去而不致损害读者对正文的理解．

本书的一个最有趣的特征是，它涉及了对策论、通信理论、行为系统和生物系统．这一切都贯串了工程控制论的观点．

要见识当代俄国的控制论学派，本书提供了一个很好的机会．必将证明，本书对一切西方读者来说都是有趣而有价值的．

F. H. 乔治（George）

英 文 版 序

能够造出一台比人更聪明的机器吗？

我们是生活在“机器人时代”的黎明吗？

对于正在为自己的生存而斗争的人们来说，机器是一种威胁吗？

对于活动领域远离控制论的很多人来说，诸如此类的问题使他们困惑不解．这些问题被热烈地讨论着，关于它们，已经写出了许多通俗的和半通俗的书籍和文章．

另一方面，那些常常议论的、尽管不那么轰动的问题，例如把计算技术和数据处理系统用于生产控制，用于商业、银行业和医疗诊断等等，似乎就不那么引起人们的兴趣了．

控制论的发生与发展，涉及当代的和长期的许多重要问题，为了能从学术上探讨这些问题，只需知道构成这门惊人的学科的基础的那些概念和方法的具体内容．本书作者想完成的任务就是使读者获得这方面的知识．

作者很高兴英语国家的读者现在将能熟悉本书的内容．如果在发展科学和将科学成果用于进步利益方面，本书能作出微小贡献的话，作者将认为，他的工作已对献身此道的其他同事助了一臂之力．

A. Я. 列尔涅尔

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

俄 文 版 序

长期以来就明显地需要一本书，它应当以足够严密的科学论述来介绍控制论的基本概念，而且这本书的形式还要能为一般没有高深数学专业知识的人所接受．但是，大多数人都承认这样一本书是难写的．

从建立控制论的模型到为信息编码，存在着各方面的问题，一个题目怎么能包含这么多的问题呢？不用微分方程或别的数学方法，该怎样介绍这门理论呢？此外，在不同的经济、生物和工程的系统的“行为”特征之间，有着内在的相似性，能不能选出例子来，足够清楚地把这种相似性揭示出来呢？外表上这些系统毫无共同之处，但是必须阐明它们彼此是相似的，事实上也正是这样．

为了说明上述意图是正确的，我们认为，向广泛的读者介绍控制论的主要概念和方法是相当重要的．

作者显然力求不忽略控制论的重要的或有趣的部分．但这不是主要任务．最重要的考虑是，找出适当的表现方法，以使本书适合于教师、工程师、医生、学生和管理人员．作者特别希望帮助这样一些人，他们既没有充分的数学知识，也挤不出时间来研究维纳（Wiener）、香农（Shannon）、安德尔诺夫（Андронов）和柯尔莫戈洛夫（Колмогоров）等人的著作，但尽管这样，他们仍希望研究解决控制论问题的方法．这些问题本来是可以研究得比（例如）读了斯坦尼斯拉夫·列姆（Stanisaus Lem）的那本杰出著作所能做到的更深一些的．

作者还有一个隐含的目的，他想给那些把控制论看作是

一种新魔术或仙丹妙药的热心家们泼点冷水. 另一方面，他也想克服怀疑论者的悲观主义，这些人不期望控制论会给出什么有用的结果. 对控制论的发展所抱的极端看法，通常是由于对这门学科的真实内容的无知.

当然，本书的内容和表现题材的方法，可能成为尖锐批评的话题，也可能给作者的友人和同事们许多愉快的时间，他们将在本书中找到足够的讨论话题.

多亏写作时得到许多人的合作，本书才能相当快地完成. 有些人帮我收集例子和问题（Л. 米库里奇，Л. 德朗福特，В. 埃普什坦，В. 布尔科夫等），有些人阅读了本文并提出了批评（Я. 库尔钦，А. 布特科夫斯基，Б. 比留科夫，Б. 郭干），还有些人则帮我成文（Е. 梅才诺夫和И. 多隆金）. 校阅者 А. 戈伯林斯基和编者 Л. 列维金也在手稿上下了很大功夫. Л. 列维金和 Ю. 施摩克莱尔不仅大大地改进了材料的叙述，还弥补了内容上的不足，特别是在第十八章和第十九章. 对于所有这些朋友们，作者表示深切的感谢，而对于本书的所有不适当之处和显然出现的错误则承担完全责任，尽管他从这么多方面得到了这一切帮助.

А. Я. 列尔涅尔

目　　录

英译本校者前言…… v
英文版序…… vi
俄文版序…… vii
第一章　导论…… 1
1.1.　控制论的起源 …… 2
1.2.　控制论的目的和任务 …… 4
1.3.　控制论系统 …… 6
1.4.　说明 …… 10
第二章　运动…… 13
2.1.　系统的状态，状态空间 …… 13
2.2.　输入值与输出值 …… 20
2.3.　变换 …… 23
练习…… 25
第三章　模型…… 26
3.1.　原型和模型 …… 26
3.2.　“黑盒” …… 29
3.3.　简化模型 …… 31
3.4.　类似系统 …… 33
3.5.　数学模型 …… 37
练习…… 40
第四章　动态系统…… 44
4.1.　动态系统的体制 …… 45
4.2.　相空间 …… 47
4.3.　相图的作法 …… 49
4.4.　稳定性 …… 51

4.5. 圈 …… 54
练习 …… 57
第五章 信号 …… 61
5.1. 编码 …… 61
5.2. 信息 …… 64
5.3. 信号的传输 …… 69
5.4. 存储(记忆) …… 73
练习 …… 79
第六章 控制 …… 82
6.1. 控制系统 …… 85
6.2. 直接链和反馈 …… 88
6.3. 控制的限度 …… 92
练习 …… 94
第七章 自动控制 …… 98
7.1. 自动控制系统的元件 …… 99
7.2. 自动控制系统 …… 104
7.3. 控制的动力学 …… 109
7.4. 程序控制 …… 113
7.5. 随动系统 …… 115
练习 …… 119
第八章 最优控制 …… 124
8.1. 最优过程 …… 125
8.2. 最优策略 …… 128
8.3. 等位面 …… 131
8.4. 最优控制系统 …… 134
练习 …… 137
第九章 自动机 …… 143
9.1. 逻辑自动机 …… 144
9.2. 有限记忆自动机 …… 150
9.3. 图灵 (Turing) 机器 …… 154

9.4. 概率自动机 …… 158
练习 …… 160
第十章 计算机 …… 164
10.1. 数字计算机 …… 165
10.2. 控制机 …… 171
10.3. 控制计算机的应用 …… 175
10.4. 数字计算机的潜力 …… 180
10.5. 计算机设计的模拟原理 …… 184
练习 …… 186
第十一章 适应 …… 189
11.1. 选择最合适的体制 …… 190
11.2. 适应自动机 …… 197
11.3. 体内平衡器 …… 199
练习 …… 202
第十二章 对策 …… 204
12.1. 二人对策、最小化最大策略 …… 205
12.2. 混合策略、对策值、优超 …… 208
12.3. 机器对策 …… 211
练习 …… 213
第十三章 学习 …… 218
13.1. 图形识别 …… 219
13.2. 学习行为 …… 223
13.3. 教学机 …… 226
练习 …… 230
第十四章 巨大系统 …… 236
14.1. 巨大系统的控制问题 …… 237
14.2. 有效性判据 …… 239
14.3. 控制系统的结构 …… 241
14.4. 等级结构的设计 …… 246
14.5. 统计模拟[蒙特卡洛（Monte Carlo）法] …… 248

14.6. 排队 …… 250
练习 …… 251
第十五章 运筹控制 …… 253
15.1 网络模型 …… 254
15.2. 网络分析 …… 257
15.3. 运筹计划 …… 259
15.4. 操作控制 …… 263
练习 …… 265
第十六章 脑 …… 268
16.1. 神经元 …… 269
16.2. 神经系统 …… 271
16.3. 知觉器 …… 279
16.4. 思考 …… 281
练习 …… 284
第十七章 有组织系统 …… 287
17.1 麦克斯韦妖精 …… 288
17.2. 有组织系统中的控制结构 …… 290
17.3. 活机体 …… 295
17.4. 自组织系统 …… 297
练习 …… 298
第十八章 人和机器 …… 302
18.1. 人和机器的共生 …… 303
18.2. 人和机器的分工 …… 307
18.3. 生物电控制 …… 309
18.4. 人和机器 …… 312
18.5. 控制论的未来 …… 313
第十九章 远景展望 …… 314
19.1. 未解决的问题 …… 315
19.2. 新手段 …… 318
19.3. 自动化的社会重要性 …… 320
19.4. 实际的和想象中的危险 …… 322
参考文献 …… 325

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第一章 导 论

科学的发展，不仅包括从深度和广度上发展已经建立的那些学科，而且还有赖于新科学的出现．新科学的出现和发展，主要受到两种因素的影响：分离和普遍化．

科学的分离是由于发现了新的研究对象以及出现了特别的科学趋势．这引导人们去研究比较狭窄的一类对象，它们的特征是用专门的手段提出问题和解决问题．高分子化学和电机理论就是这种专门学科的例子，它们都是研究比较狭窄的领域的．此外还存在比较普遍的学科，其特征是，它们都是为了研究在很广泛的一类对象中出现的自然现象而创立的．这种学科的例子有：因次理论和相似理论、动力学系统理论和热力学．

与非常特殊的科学正相反，非常普遍的科学因其本性而倾向于更理论化，并且更加依赖于描写它们所用的语言，数学语言或别种语言．

控制论就属于这一类普遍化的学科．控制论的奠基人诺伯特·维纳把控制论定义为：在机构、有机体和社会中的控制和通讯的科学．目前，控制论表示一种能应用于任何系统中的一般控制理论．在这里，所谓"系统"是指当作一个互相关连的整体的一组任意种类的元素．

严格说来，世界上我们周围一切相结合的事物构成一些互相联系的整体，它们都应当被看作是系统．但是，为了解决许多理论的和实际的问题，把系统看作是由较小的一组组元素所构成的是有益的．所以我们把一棵生长中的树或商业，

看作是同整座城市或一个国家相对立的东西．在系统内互相联系的元素越多，这组元素对外部世界的分离就越大，这样一来就越有理由把它当作是一个“分离的系统”．

在用任何类型的控制论方法研究系统中的控制过程时，人们的目的是认识控制过程特征的客观关系，然后用这些关系来改进自然的和建立人工的控制系统，以达到生物的和社会的目的．说到控制，必须认为，任何控制都是从对控制作用进行选择的信息中得出的，即使控制作用本身也是根据控制指令中所包含的信息而得到的．

任何信息都来自伴有主动实验的观察．所以，控制总是和以下各方面联系在一起的：运用观察，运用关于被控系统和与它相互作用着的外部介质的信息，以及运用关于控制作用结果的信息．系统与介质间的信息交换以及系统内各部分间的信息交换，借助于各种类型的联结才成为可能，而信息则是通过这些联结而循环的．这种联结的存在成为任何控制论系统的特征．

反馈在控制论系统中是特别重要的．所谓反馈是这样一个通道，有关控制结果的数据沿着这个通道送回系统中去．正是由于反馈，控制论系统在原则上才能越出设计者预定的作用的界限．最为重要的是，这种特性强调了控制论系统的巨大潜力．

1.1. 控制论的起源

控制论这门科学是在第二次世界大战后才开始发展的．但是，它发展得这样快，以致已经在科学、工程的各种各样的分支中，例如在生物学和医学中，在通讯和自动化中，在计算和经济学中，对于实际问题的研究方法和解决方法发挥了巨大的影响．控制论是以下列观念为基础的：有可能发展一种

一般方法来研究各式各样系统中的控制过程. 除了一般的方法论的考虑外,这个观念的重要性是,它提供了一个有力的工具来定量地描写解决复杂问题的过程.这个工具又以信息论、动力学系统理论、算法论和概率论的方法为基础.

控制论的诞生一般是和诺伯特·维纳的出色著作《控制论,或关于在动物和机器中控制和通讯的科学》的出版(1948)联系在一起的. 在这本著作中,这位杰出的美国数学家清楚地概述了发展一门一般的控制理论的方法,并为从一个统一观点来考察各种系统的控制与通讯问题的方法奠定了基础.

这些问题之所以引起维纳、罗森勃吕特(Rosenblueth)、以及对控制论的诞生和发展作出贡献的其他科学家的注意,不仅是因为他们想了解科学的发展趋势和方法,也不仅是因为他们有志于概括各门科学分支的成就(这一点也起着某种作用),主要是由于从最为一般的观点出发研究控制问题的紧张工作的直接推动的结果. 这一切也意味着,对各种具体的实际问题提供解答,例如解答在计算机生产和使用中出现的问题,特别是解答使用计算装置来指挥高炮射击、把有用的信号从伴随的噪声中分离出来、设计朗读机器以及神经生理学的某些问题等.

无损于维纳和他的同事们的工作,必须指出,构成控制论基本概念的若干科学趋势,在多年以前就已经发展起来了,有些甚至可以上溯到几世纪以前. 早在一百年之前[从麦克斯韦(Maxwell)和维什涅格拉特斯基(Вышнеградский)的工作开始],控制和反馈系统的理论就已经发展起来了. 自从用逻辑代数研究开关电路方面的著作出版以来,已经过去了三十多年[苏联的谢斯塔科夫(Шестаков)和加甫里洛夫(Гаврилов)的著作,以及日本的中岛的著作]. 在十七世纪,巴斯卡(Pascal)和莱布尼茨(Leibniz)曾有过设计数字计算机

的主意，在十九世纪，C. 巴贝奇（Babbage）又以更成熟灵巧的形式打过这种主意．但是，只有维纳的工作才在形成一门一般的控制理论方面产生某种“连锁反应”．

信息论、开关电路理论、自动控制理论和神经网络理论发展得很快，而且互相渗透、互相促进．新的工程手段是以模拟计算机和数字计算机的形式出现的；这样一来就使实现控制论实验的工作成为可能，这种实验的基础在于以计算机来模拟控制过程．

尽管许多古典学科专家们怀疑地看待这门新科学，控制论却继续取得进展，同时也证明着它本身的存在权利，这不仅是由于它的理论结果，也由于它对解决许多复杂的实际问题所作出的巨大贡献．大型数字计算机的发展、最优控制系统和自适应控制系统的发展、运筹控制的有效方法，以及许多其他重要的科学结论和实际结果，都直接归因于控制论领域中的工作所取得的进展：所以这门科学已表明了本身的正确性．

1.2. 控制论的目的和任务

由控制论引进我们的世界观的一个基本观念是，控制论带来了我们对周围世界的成分的新看法．世界由物质和能量组成的古典概念已经让位给世界由能量、物质和信息这三种成分组成的新概念．因为如果没有信息的话，有组织的系统就不能想象，而在自然界中可以观察到的活机体和人造控制系统却都表现出是有组织的系统．此外，这些系统不仅是有组织的，而且它们随着时间的推移仍保持这一状态，同时不象按照热力学第二定律所预期的那样，损失它们的组织性质．

对有组织的状态得以保持的事实，唯一可能的机械论解

释是，信息是不断地从外部世界取得的．这里信息被认为是属于在外部世界中发生的现象和在系统内部发生的过程的．

控制论的一个基本特征是，它不仅是在静态中考察控制系统，而且也在运动和发展中进行考察．在变化过程中考察系统这一点，从根本上改变了研究系统的方法．在某些场合，用这样的动力学方法还可以揭示出某些关系和事实，不然的话，这些关系和事实将仍然发现不了．如果不考察系统内部组织的动力学的话，那么象稳定性这样的系统功能的性质就不可能被揭示出来，而稳定性对于评价许多系统的工作能力来说，对于阐明系统是否存在一段长时间的可能性来说，都是再重要不过的．

控制论所考察的不是孤立系统，而是一组一组的系统，它们一般说来构成整个宇宙．这门科学应当、而且的确也在考察复杂系统各部分间必然出现的大批相互联系，并试图确定它们的性质、它们的行为、它们的发展和破坏，也研究它们的再生．

控制论方法的显著特征是观点的相对性质，就是说，同一组元素有时被当作一个系统，有时又被当作不过是系统的一个部分，或子系统．例如可以把一台气钻本身看作一个动力学系统，但是我们也可以把人用这台气钻进行工作看作一个系统．人和气钻的这个组合又是这个人的工作单位所组成的系统的一部分，等等．如果不考察各个对象和包围它们的介质之间可能形成的大批联系和相互作用，那么任何对象的性质和特征，都无法具体地评价和考虑．考察介质的影响，是用控制论方法研究出现在被控系统中的现象的特征．

不管对系统的行为的研究多么详细和精确，我们绝对考察不了直接间接影响系统行为的所有因素．所以必须考虑到不可避免地会存在一些随机因素，它们来自尚未加以考虑的

因果过程．控制论广泛地使用统计方法来研究受到随机激励的系统的行为．统计方法使我们能严格而精确地预测复杂系统的“平均行为”，虽然这种预测只是从概率角度进行的．

在控制论中发展起来的观念和方法是针对下列目标的：

(a) 确立对一切种类或某些种类的控制系统普遍成立的重要事实．象在任何理论中一样，事实的资料是不可缺少的，它是提出假设、形成理论和建立法则的基础．

(b) 揭示出被控系统受到限制的特征，并确定这些限制的起因，即这样也就确定出一些边界，在它们的范围内，设计者可以自由选择控制设备，使这些设备能够改变控制作用，而被控系统在这范围内也可以改变自已的状态．

(c) 找出系统所遵守的一般规律．根据事实资料，通过提出相应的公理，依据所采用的公理对概念进行验证，控制论，就象别的精密科学一样，能够而且应当逐步建立一批有效的理论概念、定律和原理，从而形成这门科学的核心．

(d) 指出把构成这门理论的事实和关系用于人类实际活动的方法．控制论的这一实用方面的重要性显然不亚于它的理论发展．如果不能用于实际目的，那么研究系统的行为、确立事实和关系，显然将毫无意义．但是，理论本身是不会对许多应用问题提供直接解答的．为了解决实际问题，就必须在理论概念和用来解决这些问题的实用方法之间架一座桥．为此就必须考察某些种类的控制系统的特殊性质．所以，研究怎样把控制论的一般方法用于解决实际问题的是工程控制论、经济控制论、生物控制论这样一些应用科学，它们又是起源于控制论的．

1.3. 控制论系统

控制论，作为控制的科学，它并不一般地研究一切系统，

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com