



[美] N. J. 尼尔逊 著

# 人工智能原理

科学出版社

# 人工智能原理

[美] N. J. 尼尔逊 著

石纯一等译

林尧瑞校

科学出版社

1983

## 内 容 简 介

本书以产生式系统为基本结构、谓词演算为基本工具全面系统地讨论了人工智能的基本原理。

全书共分九章。内容包括产生式系统及其搜索策略、谓词演算、归结反演系统、基于规则的演绎系统、规划生成系统和事物的结构化表示法等。每章末都对有关文献和发展情况进行了简单评述，每章后还附有一定数量的研究性习题。

本书可供从事计算机科学、人工智能等方面工作的科技人员参考，也可供高等学校有关专业教师、研究生和学生参考。

N. J. Nilsson  
PRINCIPLES OF  
ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
Tioga Publishing Co., 1980

## 人 工 智 能 原 理

(美) N. J. 尼尔逊 著

石纯一等译

林尧瑞 校

责任编辑 刘兴民 袁放第

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 各地新华书店经营

1983年2月第一版 开本: 850×1168 1/32  
1983年2月第一次印刷 印张: 14 1/8  
印数: 0001—6,400 字数: 369,000

统一书号: 15031·471

本社书号: 2957·15—8

定价: 2.80 元

## 译 者 的 话

随着计算技术的发展，在计算机科学中已形成了人工智能学科。到目前为止，人工智能学科的形成和发展已近三十年的历史。尽管对人工智能还没有一个统一的明确定义，但就其本质而言，使计算机产生人类智能的基本原理的研究以及使计算机实现人类的某些智能的研究都属于人工智能研究的范围。像自然语言理解，自动程序设计，自动定理证明，模式识别，机器人学等都是人工智能的不同分支。而 LISP 语言则是人工智能最常用的程序语言。

国际 Stanford 研究所人工智能研究中心主任 Nilsson 教授所著的这本书是一本人工智能导论性的著作。它以产生式系统作为基本结构，使用谓词演算的基本工具讨论了人工智能的基本原理。每章都附有文献和历史评述，每章的习题中还有少量的研究性题目，这给读者进一步理解有关内容提供了方便。

本书由清华大学计算机工程与科学系石纯一、刘植桢、黄昌宁、陆玉昌等同志翻译，林尧瑞同志校阅。

本书的翻译过程中得到了国内从事人工智能研究的专家们多方面的协助，在此表示感谢！

由于译者水平所限，译文难免有错误和不当之处，欢迎读者指正。

译者

1981.2

## 原 序

在以往关于人工智能的著作中，往往按照人工智能的主要应用领域来介绍这一学科，如自然语言处理、自动程序设计、机器人学、机器视觉、自动定理证明、智能的数据检索系统等等。这种讲述方法的主要困难在于，目前这些应用领域已非常广阔，象本书这样的篇幅，充其量只能对其中每一领域进行肤浅的论述。而我在本书中则企图阐明人工智能的主要思想，它正是这些应用的基础。对于这些思想我的组织方法不是根据其应用的课题内容，而是从一般的计算概念出发，其中包括所用数据结构类型，对这些数据结构实行操作的类型，以及人工智能系统所用控制策略的特性。需要特别强调指出，一般化的产生式系统和谓词演算在人工智能中占有重要的地位。

作为本书基础的原稿是根据本人给Stanford大学和Amherst的Massachusetts大学的课程和讨论班所准备的材料发展起来的。虽然我的前一部书《人工智能中的问题求解方法》（“*Problemsolving Methods in Artificial Intelligence*”）中的某些论题也包含在本书之中，但本书又增补了许多论题，如基于规则的系统、机器人的问题求解系统，以及事物的结构化的表示方法等等。

本书的目标之一是填补理论和实践之间的间隙。人工智能的理论家们对于他们相互之间的交流是不会有困难的，本书并不打算对这种交流作出贡献。本书也不是现代人工智能程序设计技术的手册，有其他的书可以达到这个目的。正如本书的宗旨所坚持的那样，本书或者可以用某些论题上的较强的理论论述加以补充，从而成为人工智能的理论课程，或者用设计和实验室工作来补充，成为实践上指导性更强的课程。

本书可以用作大学四年级或研究生一年级人工智能课程的教科书。本书设想读者在计算机科学的基础知识方面已经具备了坚实的基础。读者如果具有一种表处理语言（譬如LISP）的知识将是有益的。围绕本书来组织的一门课程可以很充裕地占满一个学期。如果还要补充单独的实际的或理论的材料，那么课程的时间可能要安排一学年。把课程安排在半学期讲完也许急促了一点，除非删略某些内容（可能删的只有第六章和第八章的部分内容）。

每章末尾的习题也许是相当难的。有些习题扩展了书中已经提出的一些主要课题。讲师们可能会发现使用挑选过的习题来作为课堂讨论的基础是很有帮助的。在每章的结束部分都扼要地讨论了适当的参考文献。这些引证将给有兴趣的学生提供有关该领域中许多最重要的文献要点。

我想将来有一天或许有机会来修订这本书，以纠正不可避免的错误，并增补新的结论和观点。因此，我诚恳地希望读者能来信提出意见。

N.J. 尼尔逊

## 致 谢

有几个组织曾经对我的研究、教学和讨论等活动给予过支持和鼓励，这就导致了本书的诞生。海军研究部情报系统的领导人 Marvin Denicoff 根据 N00014-77-C-0222 号合同向国际 Stanford 研究所提供过研究经费。在 1976—1977 学年期间，我曾经是 Stanford 大学计算机科学系兼职的客座教授。从 1977 年 9 月到 1978 年 1 月，我又在 Amherst 的 Massachusetts 大学计算机和信息科学系度过了冬季学期。这两个系的学生和教授们对这本书的写作都提供了巨大帮助。

我要特别感谢我的工作单位国际 Stanford 研究所，在使用设备方面给予的支持和在本书写作过程中给予的慷慨帮助。我还要感谢 Stanford 研究所人工智能中心的所有朋友和同事。这真是一个难以找到的富有生气并能获得启发性鼓励和建议的研究和写作环境。

本书署名虽然只有作者一人，但它实际上包含了许多人的心血。我愿借此机会向帮助过写好本书的每一个人表示谢忱。其中对于本书写作提出过特别详尽而广泛建议的有：D. Appelt, M. Arbib, W. Bibel, W. Bledsoe, J. Brown, L. Creary, R. Davis, J. Doyle, E. Feigenbaum, R. Fikes, N. Fowler, P. Friedland, A. Gardner, D. Gelperin, P. Hart, P. Hayes, G. Hendrix, D. Lenat, V. Lesser, J. Lowrance, J. Minker, T. Mitchell, B. Moore, A. Newell, E. Sacerdoti, L. Schubert, H. Simon, R. Smith, E. Soloway, M. Stefik, M. Tyson 和 R. Waldinger。

我还要感谢 R. Roy, J. Fetler 和 G. Navarro 及时而准确无误的打字，S. Seitz 对手稿排版的技术加工，以及 H. Tognetti 创造性的编辑工作。

最重要的是，如果没有我夫人 Karen 的支持、鼓励和理解，我是无论如何也不可能胜任这项工作的。

## 本书原版排印情况

本书原稿是用国际 Stanford 研究所的一台 DEC 公司 KL-10 计算机打印的。计算机原稿又通过 W.A.Barrett 的 TYPET 系统由 Hewlett-Packard 3000 计算机加以处理，以便供自动照相排版。主要字样是 Times Roman。

版式设计：I. Bastelier

封面设计：A.Hendrick

插图：M.Masterson

排字：Typothetae, P.Alto

计算机辅助

页码编排：V.Allen(排字), C.Valley,

计算机辅助

印刷和装订：R.R.Donnelley and Sons 公司

# 目 录

译者的话

原序

致谢

本书原版排印情况

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 绪论 .....                     | 1   |
| 0.1 人工智能的某些应用 .....          | 2   |
| 0.2 本书综述 .....               | 8   |
| 0.3 文献和历史的评述 .....           | 10  |
| 第一章 产生式系统与人工智能 .....         | 17  |
| 1.1 产生式系统 .....              | 17  |
| 1.2 特殊的产生式系统 .....           | 33  |
| 1.3 不同类型产生式系统的评价 .....       | 44  |
| 1.4 文献和历史的评述 .....           | 45  |
| 习题 .....                     | 47  |
| 第二章 人工智能产生式系统的搜索策略 .....     | 49  |
| 2.1 回溯策略 .....               | 51  |
| 2.2 图搜索策略 .....              | 56  |
| 2.3 无信息的图搜索过程 .....          | 63  |
| 2.4 启发式的图搜索过程 .....          | 66  |
| 2.5 有关的几种算法 .....            | 82  |
| 2.6 性能的度量 .....              | 84  |
| 2.7 文献和历史的评述 .....           | 87  |
| 习题 .....                     | 89  |
| 第三章 可分解产生式系统的搜索策略 .....      | 91  |
| 3.1 与或图的搜索 .....             | 91  |
| 3.2 AO*: 与或图的一种启发式搜索过程 ..... | 94  |
| 3.3 可分解系统与可交换系统之间的几个关系 ..... | 100 |
| 3.4 博弈树搜索 .....              | 103 |

|     |                      |     |
|-----|----------------------|-----|
| 3.5 | 文献和历史的评述 .....       | 116 |
|     | 习题 .....             | 118 |
| 第四章 | 人工智能中的谓词演算 .....     | 120 |
| 4.1 | 谓词演算非形式的介绍 .....     | 120 |
| 4.2 | 归结 .....             | 132 |
| 4.3 | 人工智能中谓词演算的用法 .....   | 138 |
| 4.4 | 文献和历史的评述 .....       | 142 |
|     | 习题 .....             | 142 |
| 第五章 | 归结反演系统 .....         | 145 |
| 5.1 | 用归结反演的产生式系统 .....    | 146 |
| 5.2 | 归结方法的控制策略 .....      | 147 |
| 5.3 | 简化策略 .....           | 154 |
| 5.4 | 从归结反演提取回答 .....      | 156 |
| 5.5 | 文献和历史的评述 .....       | 168 |
|     | 习题 .....             | 168 |
| 第六章 | 基于规则的演绎系统 .....      | 171 |
| 6.1 | 正向演绎系统 .....         | 173 |
| 6.2 | 逆向演绎系统 .....         | 187 |
| 6.3 | 在与或图内做归结 .....       | 207 |
| 6.4 | 计算演绎和程序综合 .....      | 213 |
| 6.5 | 正向系统和逆向系统的联合 .....   | 224 |
| 6.6 | 基于规则的演绎系统的控制知识 ..... | 228 |
| 6.7 | 文献和历史的评述 .....       | 238 |
|     | 习题 .....             | 241 |
| 第七章 | 基本的规划生成系统 .....      | 244 |
| 7.1 | 机器人问题求解 .....        | 244 |
| 7.2 | 正向产生式系统 .....        | 250 |
| 7.3 | 规划的表示 .....          | 252 |
| 7.4 | 逆向产生式系统 .....        | 256 |
| 7.5 | STRIPS 系统 .....      | 266 |
| 7.6 | 用演绎系统生成机器人规划 .....   | 275 |
| 7.7 | 文献和历史的评述 .....       | 283 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 习题 .....                    | 284        |
| <b>第八章 高级的规划生成系统 .....</b>  | <b>287</b> |
| 8.1 RSTRIPS系统 .....         | 287        |
| 8.2 DCOMP 系统 .....          | 300        |
| 8.3 修改规划 .....              | 309        |
| 8.4 分层规划 .....              | 316        |
| 8.5 文献和历史的评述 .....          | 324        |
| 习题 .....                    | 325        |
| <b>第九章 事物的结构化表示方法 .....</b> | <b>327</b> |
| 9.1 谓词演算的单元表示法 .....        | 327        |
| 9.2 图表示法: 语义网络 .....        | 335        |
| 9.3 匹配 .....                | 342        |
| 9.4 结构化事物的演绎运算 .....        | 351        |
| 9.5 缺陷和矛盾信息 .....           | 371        |
| 9.6 文献和历史的评述 .....          | 374        |
| 习题 .....                    | 376        |
| <b>展望 .....</b>             | <b>377</b> |
| 10.1 人工智能系统的体系结构 .....      | 378        |
| 10.2 知识获取 .....             | 379        |
| 10.3 表示方法的形式体系 .....        | 382        |
| <b>参考资料 .....</b>           | <b>387</b> |
| <b>汉英名词对照索引 .....</b>       | <b>422</b> |

## 绪 论

人类的许多脑力劳动，诸如编写计算机程序、演算数学题、进行常识性推理、语言理解，甚至于驾驶汽车，都需要“智能”。在过去的几十年中，已经建立了若干能够完成这样一些任务的计算机系统。特别是有的计算机系统能够诊断疾病、筹划复杂的有机化学化合物的综合、求解符号形式的微分方程、分析电子电路、理解有限的人类对话和自然语言文本，或编制一小段计算机程序以符合形式的规范。我们可以说这样一些系统具备了某种程度的人工智能。

为建立这类系统而进行的大部分研究工作已经出现在所谓人工智能的领域之中。这种研究工作在很大程度上都有一个试验的和工程的目标。从结构松散但正在成长的计算技术主体来看，人工智能系统有了发展，历经试验，并且有了改善。这个过程已经产生和提炼了若干广泛适用的人工智能的一般原理。

本书所要讲的是某些比较重要和核心的人工智能思想。我们着重于那些在若干不同的问题领域中得到应用的思想。为了强调它们的普遍性，我们宁可抽象地解释这些原理，而不是象自动程序设计或自然语言处理那样从专门应用的角度去讨论它们。我们将通过一些小例子来说明它们的用途，但省略了大量应用上细节的研究（要详细地解释这些应用，每个项目肯定都需要单独写一本书）。对这些基本思想的概括理解将有助于理解专门的人工智能系统（包括其优缺点），并且也将成为设计新系统的坚实基础。

人工智能也包括了建立信息处理的智能理论这样一个较大的科学目标。如果这种智能科学得到发展，那么它不仅能解释发生于人类和其他动物中的智能行为，而且可以指导智能机器的设计。由于这种一般理论的发展仅仅是一个目标，还不是人工智能

的一项成就，所以我们把注意力局限于与建造智能机器的工程目标有关的那些原理上。即使从这种有限制的观点出发，我们关于人工智能思想的讨论仍然可能被认识心理学家和其他想要理解自然智能的学者们所欣赏。

如前所述，人工智能的方法和技术已经应用到若干不同的问题领域。为了启发我们今后的讨论，下面就来阐述其中的若干应用。

## 0.1 人工智能的某些应用

### 0.1.1 自然语言处理

当人类用语言来相互通信时，他们几乎毫不费力地使用极其复杂但却几乎无需理解的过程。然而要建立一个能够生成和“理解”哪怕是片断自然语言（譬如英语）的计算机系统却是异常困难的。困难的原因之一是语言已经发展成为智能生物之间的一种通信媒介。它的主要用途是在某些环境条件下把一点“思维结构”从一个头脑传输到另一个头脑，而每一个头脑都拥有大的、高度相似的、周围的思维结构作为公共的文本。而且，这些相似的、前后有关的思维结构中的一部分允许每个参与者知道对方也拥有这种共同的结构，以及对方能够并将在通信“动作”中用它来完成某些过程。语言用途的发展显然为参与者使用他们巨大的计算资源及共有的知识来生成和理解高度压缩和流畅的信息开拓了机会：“才智从才智中来”这句话就足以概括这一切。可见，语言的生成和理解是一个极为复杂的编码和解码问题。

一个有能力理解用自然语言来表达信息的计算机系统就如同要求（不亚于一个人）不仅仅拥有上下文的知识，而且拥有由信息发生器所承担的推理过程（根据上下文知识和信息）。理解对话和理解书写的片断语言的计算机系统已经取得了一些进展。发展这些系统的基础是有关表示上下文知识结构的某些人工智能思想以及根据这种知识进行推理的某些技术。虽然在本书中我们打算

这样讨论语言处理问题，但是我们要阐明的知识表示和处理过程的某些重要方法，会在语言处理系统中找到应用。

### 0.1.2 从数据库中进行智能检索

数据库系统是储存某学科大量事实的计算机系统，其储存方式使它们可以回答用户们提出的有关该学科的各种问题。举一个特殊的例子来说，假设这些事实是某大公司的人事档案。这个数据库中的一些具体条款可能代表着如下所列的事实：“Joe Smith 在采购部工作”，“Joe Smith 在1976年10月8日被雇用”，“采购部共有17名雇员”，“John Jones 是采购部的经理”等等。

数据库系统的设计是计算机科学的一个生气勃勃的子专业，为了有效地表示、储存和检索大量事实已经发展了许多技术。从我们的观点来看，当我们想寻找需要用数据库中的事实来进行演绎推理的答案时，这个课题就显得很有意义了。

这种智能的信息检索系统的设计师将面临以下几个问题。首先，建立一个能够理解以自然语言（如英语）来陈述询问的系统本身就有许多问题。第二，即使语言理解问题能够通过规定机器可以理解的某些形式化的询问语言来加以回避，但仍然存在着一个如何根据储存的事实用演绎得出答案的问题。第三，询问的理解和答案的演绎所需要的知识都有可能超出该学科范围的数据库中所表示的知识。常识（在学科范围的数据库中往往被忽略）通常是需要的。举例来说，根据前述的人事档案，一个智能系统应当能够对询问“谁是 Joe Smith 的领导？”演绎出答案“John Jones”。这个系统必须知道一个部门的经理就是该部门工作人员的领导。怎样表示和运用知识是需要引用人工智能方法的系统设计问题之一。

### 0.1.3 专家咨询系统

在自动咨询系统的发展中也同样采用了人工智能的方法。这些系统向用户提供指定的学科领域中专家的结论。在已经建立的

自动咨询系统中，有能够诊断疾病的，估价潜在矿床的，推荐复杂有机化合物的结构的，以及甚至提供有关如何使用其他计算机系统的参考意见的。

发展专家咨询系统的一个关键问题是如何表示和运用这些学科的人类专家们所明显拥有并能运用的知识。这个问题之所以更加困难是因为在许多重要领域中专家的知识通常是不精确、不确定或逸事般的（然而人类专家正是运用这样的知识获得有用的结论）。

许多专家咨询系统采用了基于规则演绎的人工智能技术。在这样的系统里，专家的知识用一个由简单规则组成的庞大集合来表示，而这些规则用来引导系统和用户之间的对话以及演绎结论。基于规则的演绎是本书的主要论题之一。

#### 0.1.4 定理证明

对数学中一个臆测的定理寻找一个证明（或反证）确实可以称得上是一项智能的任务。为此不仅需要有能力根据假设进行演绎的能力，而且需要有某些直觉的技巧，譬如说为了求证主要的定理而猜测应当首先证明哪一个引理。一个熟练的数学家运用他的（以大量专门知识为基础的）判断力能够精确地推测出在某一科目范围里哪些前已证明的定理在当前的证明中是有用的，并且把他的主问题归结为若干子问题，以便独立地进行处理。有几个自动定理证明的程序已经在有限的程度上拥有这样一些技巧。

定理证明的研究在人工智能方法的发展中曾经产生过重要的影响。例如，采用谓词逻辑语言的演绎过程的形式化帮助我们更清楚地理解某些推理的成分。许多非形式的事务，包括医学诊断和信息检索都可以和定理证明问题一样加以形式化。由于这些原因，在人工智能方法的研究中定理证明是一个极其重要的论题。

#### 0.1.5 机器人学

一个汽车机器人的机体动作控制问题，乍看起来用不着太多

的智能。即使小孩也能顺利地通过他们周围的环境，他们还能操纵诸如电灯开关、玩具积木和餐具等各项动作。然而就是人类几乎下意识完成的这些任务，要是用机器来实现就要求机器具备许多能力，它们是和求解需要较多智能的问题时是一样的。

机器人和机器人学的研究推动了许多人工智能思想的发展。它导致的技术可以用来模拟世界的状态，用来描述从一种世界状态转变为另一种世界状态的过程。它对于怎样产生动作序列的规划以及怎样监督这些计划的执行有了一种较好的理解。复杂机器人的控制问题迫使我们发展这样的一些方法，以便先在抽象和忽略细节的高层进行规划，然后逐步在细节变得愈来愈重要的低层进行规划。在本书中，我们经常有机会利用机器人问题求解的例子来说明一些重要的思想。

#### 0.1.6 自动程序设计

编写一段计算机程序的任务既同定理证明又同机器人学有关。自动程序设计、定理证明和机器人问题求解中大多数基础的研究是相互重迭的。在某种意义上来说，编译程序的存在已经在干着“自动程序设计”的工作。编译程序接受一份有关想干什么的完整的源码说明，然后编写一份目标码程序去实现之。这里我们所说的自动程序设计是指可以用一种“超级编译程序”或者某一个程序来描述，这种程序能够接受关于输入程序要实现什么目标的非常高级的描述，然后产生一个程序。这种高级描述可能是采用形式语言的一条精确的语句（譬如谓词演算），或者可能是一种松散的描述（譬如用英语），这要求在系统和用户之间进一步对话以澄清语言的二义性。

自动编制一份程序来获得某种指定结果的任务同论证一份给定的程序将获得某种指定结果的任务是紧密相关的。后者叫做程序验证。许多自动程序设计系统将产生一份输出程序的验证作为额外的收益。

自动程序设计研究的重大贡献之一是作为问题求解策略的调

整概念。已经发现，对程序设计或机器人控制问题，先产生一个不费事的有错误的解，然后再修改（使它正确工作）的作法，比起坚持要求第一个解就完全没有缺陷的作法，通常效率要高得多。

### 0.1.7 组合和调度问题

我们很感兴趣的一类问题是关于确定最佳调度或组合的问题。许多这样的问题可以用本书讨论的方法来处理。一个古典的例题就是推销员的旅行问题，这个问题是要寻找一条最短的旅行路线，他从若干城市中的某一个城市出发，每个城市只许访问一次，然后回到出发的城市。这个问题的一般化的提法是：对由  $n$  个节点组成的一个图的各条边，寻找一条最小耗费的路径，使得这条路径对这  $n$  个节点的每一个节点只许穿行一次。

许多难题具有这种相同的一般特性。另一个例子是八个皇后问题，它要求在一个标准的国际象棋棋盘上按照如下要求放置八个皇后：没有一个皇后可以捕获任何其他的皇后，即在任一行、一列或一条对角线上最多只能放置一个皇后。在大多数这类问题中，可以从可能的组合或序列中选取一个答案，但组合或序列的范围相当大。于是企图求解这类问题的程序就产生了一种组合爆炸的可能性，在这种情况下即使是大型计算机其容量也将被耗尽。

这些问题中有几个（包括推销员的旅行问题）是属于计算理论家称为NP-完全性那一类问题的成员。计算理论家根据使用理论上最佳方法计算所耗时间（或所取步数）的最坏情况来排列不同问题的困难程度，后者是随着问题大小的某种度量（举例来说，在推销员的旅行问题中，城市的数目就是问题大小的一种度量）一起增长的。因此，举例来说问题的困难程度将随着问题的大小按线性、多项式或指数方式增长。

用现在知道的最佳方法求解NP-完全性问题所耗费的时间随着问题的大小按指数方式增长。迄今还不知道有没有更快的方法