

人工智能手册

第三卷

人工智能手册

第三卷

人工智能手册

第三卷

〔美〕 P. R. 科恩 E. A. 费根鲍姆 主编

科学出版社

人 工 智 能 手 册

第 三 卷

〔美〕 P. R. 科恩 E. A. 费根鲍姆 主编

周少柏 黄 汛 译

解 学 出 版 社

1 9 9 1

(京)新登记092号

内 容 简 介

《人工智能手册》共三卷。本卷内容包括认知模型、计算机视觉、自动演绎、机器定理证明、学习和归纳推理、规划和问题求解等重要的新课题

本书的各个部分分别由著名专家、学者撰写而成,题材极为丰富,论述深入浅出,有许多插图和算法作为示例,是理想的工具书。

全书系统而全面地叙述了当代人工智能领域的重大研究成果,在某种意义上反映了人工智能学科的发展动向,可供从事有关计算机应用研究的科技人员、大学教师、研究生参考,或作为高等院校计算机专业的教材和基础读物。

Edited by Paul R. Cohen and Edward A. Feigenbaum
THE HANDBOOK OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
Volume I

William Kaufmann, Inc., 1983

人工智能手册

第 三 卷

[美] P. R. 科恩 E. A. 费根鲍姆 主编

周少柏 黄 汛 译

责任编辑 刘晓融 袁放尧

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100707

北京怀柔县黄坎印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1991年12月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1991年12月第一次印刷 印张: 19

印数: 0001—1400 字数: 496 000

ISBN 7-03-002557-1/TP·205

定价: 20.70 元

前 言

智能就是创造人造的事物的能力，特别是创造制造工具的工具。

——Henri Bergson

L'Evolution Créatrice (1907)

人工智能还是相当年轻的一门科学，由于它是新的领域，我们可以追溯它从 1956 年开始到现在的发展过程。大约六年前，当我们准备编写《人工智能手册》时，我们估计可以用三卷的篇幅来全面地介绍 AI (Artificial Intelligence)。现在看来，这个推测还是恰当的，尽管为了反映 AI 的研究重点及方法的变化，我们对大纲已进行了多次修改。有些章节比我们预期的长得多，有些则变短了，有一章被全部删去，许多初稿被删去或重写。这是研究和报道一个兴旺而迅速发展的领域需要付出的代价（和得到的鼓舞）。

虽然这本手册的内容有所改变，但是我们原定的格式和风格并没有改变。从一开始我们就要求对 AI 作全面的评述，不用行话，提出设想，介绍基本的问题并简单地描述解决的方法。从一开始我们就认为，在大多数情况下，符合这些标准的一小段文字可以表达一个程序，一个方案，或一篇六七页的博士论文。我们不讨论各项研究课题的细节，但是鼓励读者去查阅每篇文章的参考文献。另一方面，我们确实打算弄清楚（以相互参照的形式）AI 研究的各个领域一些较为细微的关系。

根据 AI 的发展情况和某些已定的编辑目标的限制，手册目前已增加到约 1500 页，分为三卷。各卷中章节的分配在一定的程度上反映 AI 最近的历史。在第一卷中我们讨论搜索，知识表达，自然语言理解和口语理解。这些是在我们起草第一卷时 AI 最典型的论题。我们把对“正在变化的领域”的讨论放到后面的两卷中，

例如，在规划第一卷时自动演绎法还不是 AI 研究中一个流行的课题，所以我们把它留在这一卷中，在这段时间内它有了若干新的发展并恢复了它在 AI 早期所得到的重视。与此类似，为了反映最近的情况，第二卷的两章（自动程序设计和 AI 程序语言）在去年才刚刚完成，而第二卷的其他几章（讨论 AI 在科学、医学及教育中的应用）则写得较早。本卷的各章（除了第十一章认知模型外），讨论一些在规划此手册时我们还不十分了解的论题。由于推迟了对这些论题的讨论，在视觉、学习、规划及自动演绎等方面，我们有机会“等等看”它们的进展。我们还把关于机器人的一章推迟到这一卷，但最后决定不写了，其原因将在后面讨论。

如果本卷有一个统一的主题，那末它就是：智能（人工的或自然的）包括许多分级组织的相互作用的信息过程。我们在这一卷讨论了某些基本过程，它是计算机在这个世界上（以人的标准）智能地工作的前提。一台计算机一定要能够感知其周围环境，它必须有记忆并能学习，它应该能构成解决问题的初步规划，它应该会演绎和归纳地推理。通常在 AI 中，如果计算机不能与物质世界互相作用而可与代表物质世界的某些选定的方面的符号化世界交互作用，那末它就不需要感知周围的环境。或者，如果已写好一个程序来解决一组有关的问题，而且它在开始时已经有了所需要的所有的信息，那末它就不需要再学习。但是，如果一个计算机程序要表现出哪怕是两岁小孩的一部分智能——例如“学习”这样的概念：家猫的外表看起来像狗，但是它们的个性不一样，并且利用这些信息指导它与每一动物的相互关系——那末这个程序就需要本卷中讨论的技巧。

第十一章讨论认知模型，它介绍认知科学，这是 AI 和认知心理学的边缘学科。在 AI 的早期阶段，研究人员设计了人工系统，以改进他们对人类思想的理解。第十一章的概述部分讨论这些概念的早期历史（1956—1970）和当时计算机科学家与心理学家之间的相互影响。我们没有讨论认知科学的最新工作而着重于信息处理心理学的历史，因为这是一段很吸引人的历史，而且这一领域发

展很快，以致我们从一定的距离之外才能够看得更清楚。最近的研究工作放在手册的其他章节中讨论。

第十二章讨论自动演绎，描述推理模型，介绍自然演绎、归结-基演绎、归纳和非单值推理等的形式分析。现代的符号逻辑是至少有一个世纪历史的学科。开始是试图使数字推理规则形式化，许多哲学家都用它作为权威的理论甚至是人类推理的标准理论。自动演绎是逻辑计算，它试图发现一些过程，它们能相当有效地演绎事实的逻辑结果。自动演绎至少在两个方面影响到AI，首先，推理实际世界的机器几乎总是要完成某种形式的符号演绎；其次，像数学定理证明一样可以把启发式方法应用到演绎本身。这两点在此章中是很明显的。

第十三章概括了视觉研究。视觉系统加工从实际的、有干扰的环境中得来的原始数据。大多数AI程序对预先选择的实际世界的某些方面进行推理，它们是清楚地用某种语言来表示的。而视觉研究的任务是发现物质世界的表达方法，以及从一种表达推理到另一种表达推理的过程。逐级的表达使干扰更小，且更适应于特定的任务。这一章是由卡内基-梅隆大学的Takeo Kanade教授组织编写的。这是很长的一章，约200页，但它是全面的。它讨论了视觉的所有部分，从摄像机和测距仪到景物内容最高水平的推理。为其完整性，也选了几篇有关视觉研究技术问题的文章，虽然它们的内容与AI的关系不大。

视觉和机器人是紧密相关的领域，开始曾打算在手册中安排一章机器人。可是我们发现，在其他各章中已经包括了与人工智能有关的机器人的内容（如视觉，规划），而工业和研究用的机器人的其他方面，如动力学和控制，传感器和机械手的设计等都超出了本书的范围。因而我们决定，与其只是不完整地介绍这个领域，还不如放弃这一章。

第十四章叙述AI研究人员在创造能学习的计算机程序方面的努力。这章的读者将会注意到一个反复提起的论点：一个AI程序的能力正比于它所知道的东西。因此，很大的努力花费于使程

序更有知识，特别是创造可通过听取意见、死记硬背式学习、从例子中学习等方法获得知识的程序。这一章的作者 Thoma G. Dietterich提出了一个理论结构，在其中他比较和参照了这些方法以及其他的学习方法。一个有趣的结论是学习程序本身也与刚刚提到的那个论点有关：学习程序的性能正比于它们所知道的东西。

第三卷的最后一章讨论规划和问题求解。可以认为，它是第二章关于搜索的扩展。这两章本来是可以合并的，但是规划研究中的某些重要进展是在写搜索这章以后才出现的。围绕着第十五章的这些讨论中，有多层规划，在几层抽象上的一个单一规划，以及避免回溯搜索的最少承担规划方法。

鸣谢

读者将注意到有很多人参加了这三卷手册的编写。他们的名字已列在有贡献者的名单中。在这里我们向那些帮助编写第三卷的人们表示感谢。

卡内基-梅隆大学的 Takeo Kanade 教授组织了第十三章的编写并亲自写了一部分。我们非常感谢他对这一章的全面和贯彻始终的工作：他决定了这一章的内容；指导写作；写概论，写了有关 Mackworth 和他自己的研究工作的文章，以及有关纹理和“形状的由来”方法的文章；他还重写了其他许多文章并检查了这一章的所有文章和图表。在整个过程的每一步，都保证了这一章的完整性、权威性和准确性。

视觉这一章的其他作者是：Martin Herman，写了大多数关于积木块世界的文章和松弛算法的文章；Steven A. Shafer，写了关于颜色、区域分析和本征图像的文章，而且我们很感激他自愿地花了几天时间进行细致的编校；Jarnes L. Crowley，写了视觉输入和测距仪的文章；Fuminhou Komura，写了预处理和边缘检测；David R. Smith，写了形状分析和视觉系统；David A. Bourne，写了语法方法；Rodney Brooks，为手册写了几篇文章，在这卷中，他写了关于 ACRONYM 的文章；Nancy H. Cornelius，写

了有关运动的文章; Hiromichi Fujisawa, 写了机器人视觉; Bruce D. Lucas, 写了立体视觉; Steven L. Tanimoto, 写了关于视觉研究中锥体的文章; Charles E. Thorpe, 写了有关模板匹配的文章。

Thomes G. Diellerich 组织并编写了第十四章的大部分。一般来说, 一章的组织要反映一个领域中明显的理论特点, 然而这一章, 实际上需要综合和组织学习系统的一般模型, 然后按照这一模型的组成部分的术语来讨论个别的系统, 并由完成训练实例的过程区别四种学习系统。Bob London 写了关于死记硬背式学习和‘听取意见’的文章, Kenneth Glarkson 写了文法推理的文章, Geoffrey Dromey 写了自适应学习的文章。这一章由 James S. Bennett, Bruce G. Buchanan, Ryszard S. Michalski, Thomas M. Mitchell, Jack Mosfow, David Shur, 以及 Paul Utgoff 进行了检查。

第十二章自动演绎是由几个人写的。Janice Aikins 组织了这一章并编辑了大多数文章。Stanford 国际研究所的 Robert C. Moore 写了概论; 我们特别感谢他审查了其他文章。Texas 大学的 W. W. Bledsoe 写了关于归结定理证明的文章并编辑了自然演绎的文章, 这篇文章是由 Texas 大学的 Michael Ballantyne 准备的。Stanford 国际研究所的 Stanley J. Rosenschein 写并编辑了有关逻辑程序设计的文章。Richard Pattis 写了关于 Boyer Moore 定理证明程序的文章。Jon Doyle 重写了论述得十分充分的关于单值逻辑的文章, 从而向我们提供了一个新的清楚的且易读的关于这个较新的和复杂的课题的叙述。

第十一章认知模型和第十五章规划的大多数文章是由 Paul Cohen 撰写的, Steve Westfold 写了 NOAH 的初稿, Peter Friedland 写了框架规划的改进。

我们感谢 Avron Barr 为这个手册的第一、二卷所做的工作。由于第一卷包括了许多我们在后两卷无需重复的决定, 所以无疑, 第一卷是三卷中最难写的。他的贡献和预见使第三卷比较容易写作。

这套手册是不一般的。它的起草、编辑和排版是在几台计算机上进行的。一篇文章或一本书从起草到印刷有许多工作要做。通常一个作者把手稿交给出版者，几个月或几年后一本书才能出版。对于这套手册，我们要求一个连续的写作、编辑及生产过程的相互作用，以便在出版时每本书的内容都能够衔接得很好。这就需要每一本书（它的内容，参考文献及索引）保留在计算机的文件中。

Dianne Kanerva 负责这三卷手册的出版。她编排书的形式，负责自动排版、索引和文献目录的结构以及插图设计等。她在18个月中完成了三卷共1500页。当她开始工作时，第二卷还没有写完而第三卷只写了一章。我们非常感激她所做的贡献。Jose L. González 完成了第二和第三卷所有文章的最后排版；他设计并完成了一组 TEX 的宏汇编程序，保证了手册的连贯性及印刷质量；他也帮助 Kanerva 进行了手稿的最后编辑。Dikran Karagueuzian 做了第二、三卷的文献目录和人名索引的准备及排版工作，且与 Christopher Tucci 一起操作 Alphatype CRS 照版机。Pentti Kanerva 写了索引程序以便扩充人名和主题索引，Janet Feigenbaum 和 Barbara Laadaga 在1981年的春天和夏天帮助编排了此书的正文。在那几个月以后，由 David Eppstein 和 Jonni Kanerva 做这件工作。Robert Bruce Buchanan 做了许多文献目录的准备工作。

我们要感谢出版者们，William Kaufmann 公司的 Mike Hamilfo 负责本手册出版。Sunny Olds 在 Stanford 大学和出版者之间协调第二和第三卷的出版工作，在 Vicki Woodruff 的协助下，她也做了很多校对工作。Catherine Drees, Beverly Kenon-Kelley 和 Spectra Media 做了大量的原图绘制工作。

国防部的 ARPA 和国家卫生研究所的 BRP 资助了本手册的编写，这是他们长期地发展 AI 科学和技术的持续努力的一部分。在整个过程中，Stanford 大学的计算机科学家在 SAIL, SCORE 及 SUMEX 计算机上使用了电子文件准备设备。

对本手册有贡献者名单

各章编辑

Janice Aikins(Hewlett-Packard)
James S. Bennett
Victor Ciesielski(Rutgers U)
William J. Clancey
Paul R. Cohen
James E. Davidson
Thomas G. Dietterich

Bob Elschlager(Tymshare)
Lawrence Fagan
Anne v. d. L. Gardner
Takeo Kanade(CMU)
Jorge Phillips(Kestrel)
Steve Tappel
Stephen Westfold(Kestrel)

执笔者

Robert Anderson(Rand)
Douglas Appelt(SRI)
David Arnold
Michael Ballantyne(U Texas)
David Barstow(Schlumberger)
Peter Biesel(Rutgers U)
Lee Blaine(Lockheed)
W. W. Bledsoe(U Texas)
David A. Bourne(CMU)
Rodney Brooks(MIT)
Bruce G. Buchanan
Richard Chestek
Kenneth Clarkson
Nancy H. Cornelius(CMU)
James L. Crowley(CMU)
Randall Davis(MIT)
Gerard Dechen
Johan de Kleer(Xerox)
Jon Doyle(CMU)
R. Geoff Dromey(U Wollongong)
Richard Duda(Fairchild)
Ramez El-Masri(Honeywell)
Robert S. Englemore(Teknowledge)

Susan Epstein(Rutgers U)
Robert E. Filman(Hewlett-Packard)
Fritz Fisher (Ramtek)
Christian Freksa (Max Plank,
Munich)
Peter Friedland
Hiromichi Fujisawa(CMU)
Richard P. Gabriel
Michael R. Gencsereth
Neil Goldman(ISI)
Ira Goldstein(Hewlett-Packard)
George Heidorn(IBM)
Martin Herman(CMU)
Annette Herskovits
Douglas Hofstadter(Indiana U)
Elaine Kant(CMU)
Fuminobu Komura(CMU)
William Laaser(Xerox)
Douglas B. Lenat
Bob London
William J. Long(MIT)
Bruce D. Lucas(CMU)
Pamela McCorduck

Mark L. Miller(Computer Thought)
 Robert C. Moore(SRI)
 Richard Patis
 Stanley J. Rosenschein(SRI)
 Neil C. Rowe
 Gregory R. Ruth(MIT)
 Daniel Sagalowicz(SRI)
 Behrokh Samadi(UCLA)
 William Scherlis(CMU)
 Steven A. Shafer(CMU)
 Andrew Silverman
 David R. Smith(CMU)

Donald Smith(Rutgers U)
 Phillip Smith(U Waterloo)
 Reid G. Smith(Schlumberger)
 William R. Swartout(ISI)
 Steven L. Tanimoto(U Washington)
 Charles E. Thorpe(CMU)
 William van Melle(Xerox)
 Richard J. Waldinger(SRI)
 Richard C. Waters(MIT)
 Sholom Weiss(Rutgers U)
 David Wilkins(SRI)
 Terry Winograd

审阅者

Harold Abelson(MIT)
 Saul Amarel(Rutgers U)
 Robert Balzer(ISI)
 Harry Barrow(Fairchild)
 Thomas Binford
 Daniel Bobrow(Xerox)
 John Seely Brown(Xerox)
 Richard Burton(Xerox)
 Lewis Creary
 Andrea diSessa(MIT)
 Daniel Dolata(UC Santa Cruz)
 Lee Erman(ISI)
 Adele Goldberg(Xerox)
 Cordell Green(Kestrel)
 Norman Haas(Symantec)
 Kenneth Kahn(MIT)
 Jonathan J. King(Hewlett-Packard)
 Casimir Kulikowski(Rutgers U)
 John Kunz
 Brian P. McCune(AI&DS)
 Jock Mackinlay

Ryszard S. Michalski(U Illinois)
 Donald Michie(U Edinburgh)
 Thomas M. Mitchell(Rutgers U)
 D. Jack Mostow(ISI)
 Nils Nilsson(SRI)
 Glen Ouchi(UC Santa Cruz)
 Ira Pohl(UC Santa Cruz)
 Arthur L. Samuel
 David Shur
 Herbert A. Simon(CMU)
 David E. Smith
 Dennis H. Smith(Lederle)
 Mark Stefik(Xerox)
 Albert L. Stevens(BBN)
 Allan Terry
 Perry W. Thorndyke(Perceptronics)
 Paul E. Utgoff(Rutgers U)
 Donald Walker(SRI)
 Harald Wertz(U Paris)
 Keith Wescourt(Rand)

生产者

David Eppstein
 Janet Feigenbaum

Pentti Kanerva
 Dikran Karagueuzian

Robert Bruce Buchanan
Max Diaz
David Fuchs
José L. González
Marion Hazen
Dianne G. Kanerva
Jonni M. Kanerva

Arthur M. Keller
Barbara R. Laddaga
Roy Nordblom
Thomas C. Rindfleisch
Ellen Smith
Helen Tognetti
Christopher Tucci

目 录

前言

对本手册有贡献者名单	(xi)
------------------	--------

第十一章 认知模型

(1)

A. 概述	(1)
B. 通用问题求解程序	(9)
C. 机遇问题求解	(20)
D. EPAM	(26)
E. 记忆的语义网络模型	(34)
E1. Quillian的语义记忆系统	(34)
E2. HAM	(41)
E3. ACT	(49)
E4. MEMOD	(55)
F. 信念系统	(65)

第十二章 自动演绎

(77)

A. 概述	(77)
B. 推理的消解规则	(86)
C. 非消解定理证明	(94)
D. Boyer-Moore 定理证明程序	(103)
E. 非单值逻辑	(116)
F. 逻辑程序设计	(123)

第十三章 视觉

(128)

A. 概述	(128)
B. 积木块世界的理解	(141)
B1. 识别三维物体	(141)
B2. 划分线段图画为物体	(145)
B3. 解释不完整的线条图画	(149)
B4. 标记三角面中的线条图画	(156)

B5. 在解释线条画图过程中限制的传播	(161)
B6. 获得线条图画	(167)
B7. 有关表面方向的推理	(171)
B8. Origami 世界和形状复原	(181)
C. 视觉数据的前期处理	(192)
C1. 视觉输入	(192)
C2. 颜色	(201)
C3. 预处理	(203)
C4. 边缘检测和线段查找	(213)
C5. 区域分析	(221)
C6. 纹理	(227)
D. 景物特性的表达	(234)
D1. 本征图像	(234)
D2. 运动	(240)
D3. 立体视觉	(245)
D4. 测距仪	(251)
D5. 间接获得形状的方法	(257)
D6. 三维形状的描述和识别	(266)
E. 用于视觉的算法	(277)
E1. 金字塔和四分树	(277)
E2. 模板匹配	(281)
E3. 计算机视觉的语言学方法	(286)
E4. 松弛算法	(291)
F. 视觉系统	(301)
F1. 机器人视觉	(301)
F2. 视觉系统的组织和控制	(306)
F3. ACRONYM	(313)
第十四章 学习和归纳推理	(323)
A. 概述	(323)
B. 死记硬背式学习	(334)
B1. 问题	(334)
B2. Samuel 下棋程序中的死记硬背式学习	(338)
C. 听取意见的学习	(343)

C1. 问题	(343)
C2. Mostow 的操作化程序	(347)
D. 从例子学习	(358)
D1. 问题	(358)
D2. 控制和模式识别系统中的学习	(372)
D3. 学习单个概念	(381)
D4. 学习多重概念	(417)
D5. 学习执行多步任务	(448)
第十五章 规划和问题求解	(509)
A. 概述	(509)
B. STRIPS 和 ABSTRIPS	(517)
C. 不分层规划	(526)
D. 分层规划程序	(535)
D1. NOAH	(535)
D2. MOLGEN	(546)
E. 框架规划的改进	(552)
文献目录	(559)
主题索引	(581)

第十一章 认知模型

A. 概 述

拟人说——我们赋予所有的生物和非生物个性和情绪——是人类思想中的一个很有影响的趋势。所以，我们同样地对待计算机，甚至我们颠倒这个等式，用机器的术语来描述我们自己，就不奇怪了。这不是一个新的趋势——在电子计算机出现之前它就有了（例如，1910年时的未来学家们在他们的宣言中就颂扬了机器的功效）——但是，就计算机而言，将机器和人进行对比是更令人信服的。

然而这种概括而没有限制地认为人的行为像计算机或计算机像人的主张是不科学的和不慎密的。关键是充分了解人类和计算机是如何思维的，精确地说出他们有什么共同之处，并且当我们还缺少这方面的知识时，使用比较的方法提出人类思维或计算机思维的理论。因此，心理学和AI（人工智能）有一种互相依靠的密切关系：我们所了解到的有关人类的智能启发着机器智能理论的发展，反过来亦是如此。

在AI的早期，这些相互关系更为明显。例如，在1956年Allen Newell 和 Herbert Simon 提出了称为LT（逻辑理论家）的问题求解理论，它由计算机程序来完成。由于这个理论是形式化的，Newell 和 Simon 能够精确地指出他们预期能在人类问题求解程序中找到问题求解的行为。但是当他们测试他们的理论时，发现有一个方面是失败的：人类不用和该程序一样的控制过程（从定向公理反推）。因此，他们修改了这个理论并写了新的程序，加进了他们了解到的人类在问题求解时的控制过程。他们把这个新的程序称做通用问题求解程序（GPS），并把新的控制过程称做

中间结局分析。他们发现这个过程（按计算机时间来说）比原程序有效得多。中间结局分析是现在 AI 领域中已被确认的问题求解技术之一。

这个例子说明，通过对人类和机器问题求解的比较，如何能从对两者都相对无知的情况下发展出它们的理论来。第一步是 LT，它是初步的理论。第二步是对照人类问题求解检查 LT。第三步是从老的理论和实验数据之间的差别推导出一个新的理论——GPS。这个理论被进一步测试。它无论是作为人类问题求解的理论还是作为 AI 的一种技术都是比较成功的。然而，请注意，这一发展之成功并不是单纯地依靠认定人类问题求解类似于机器问题求解，而是依靠精确地描述它们的类似性和差别。对于发展这一理论来说，更重要的是它们的差别。计算机的程序是行为的精确描述，对人类的实验结果也同样如此；通过互相补充可以使行为的理论迅速地发展。

这种心理学研究的方法叫做信息处理心理学，更新的名称是认知科学。已发展的理论——人类思维的计算机模型——称为认知模型。信息处理心理学的中心思想是使人类和人工智能之间有魅力的比较更为精确，有助于我们理解人类的认识。下一节我们介绍信息处理心理学的历史背景。

AI 和信息处理的历史

自 1950 年以来，信息处理心理学一直在美国心理学的发展中起着重要作用。它帮助恢复了思想的概念。这个概念已被行为心理学家废除了，因为它只能依靠内省而无法观察。方法论行为主义者指责把内省作为一种心理学的方法，因为不能保证一个人用来描述他（或她）的精神活动的词对于其他人也意味着同样的事情。例如，一个人说：“我想起这个词来——它就在我的口边。”你也许认为你知道他在想什么以及他的感觉，但事实上不管他对他的情况描述得多么详细，你也不能保证你对他的情况的了解是完全准确的。激进的行为主义者对内省有更为偏激的看法，他们认