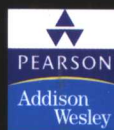




国外经典教材·计算机科学与技术



Artificial Intelligence

Third Edition

人工智能 (第3版)

(美) Patrick Henry Winston 著
崔良沂 赵永昌 译



清华大学出版社

国外经典教材·计算机科学与技术

人工智能（第3版）

Artificial Intelligence (Third Edition)

（美）Patrick Henry Winston 著

崔良沂 赵永昌 译

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为第3版内容,经过了完全重写和更新,反映了之前版本发行以来人工智能领域的革命性进展。第1部分阐述知识表达和利用知识进行推理的方法,第2部分阐述显现智能的先决条件——学习能力,第3部分阐述视觉感知和语言理解;其《教师手册》包含了详细的习题解答和教学大纲范例;对已掌握 LISP 语言的读者,还可从因特网下载有关该书的大量程序。

本书适合计算机科学与工程专业学生,还有心理学、生物学、语言学、哲学专业学生和有关研究人员。
(Simplified Chinese edition copyright © 2004 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS.

Original English language title from Proprietor's edition of the Work.

Original English language title: Artificial Intelligence, Third edition by Patrick Henry Winston, Copyright © 2000

EISBN: 0-201-53377-4

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Addison-Wesley Publishing Company.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macao).

本书中文简体翻译版由培生教育出版集团授权给清华大学出版社在中国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区)出版发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2003-1775

本书封面贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能(第3版)/(美)温斯顿(Winston,P.H.)著;崔良沂,赵永昌译. —3版. —北京:清华大学出版社,2005.7

(国外经典教材·计算机科学与技术)

ISBN 7-302-10327-5

I. 人… II. ①温… ②崔… ③赵… III. 人工智能-教材 IV. TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第003263号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 许存权

文稿编辑: 鲁秀敏

封面设计: 久久度文化

版式设计: 崔俊利

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市春园印刷有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 33.75 字数: 762千字

版 次: 2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-10327-5/TP·1157

印 数: 1~4000

定 价: 68.00元

译 序

《人工智能（第3版）》（Artificial Intelligence, Third Edition）一书，作者帕特里克·亨利·温斯顿（Patrick Henry Winston）是美国人工智能协会前主席、美国麻省理工学院人工智能实验室教授。该书对人工智能作了生动、科学的诠释，充分体现了MIT科学大师的风采：语言精练，行文流畅，思维缜密，说理透辟，深入浅出，研典援例。对于计算机科学技术专业的读者，它提供了尤其是知识表达、开发实用系统方面的各种新概念；对于心理学、生物学或语言学专业的读者，它从计算的视角揭开了智能的神秘面纱。持一卷在手，破淡霾浓雾，启心智大开。世界日日在变化，AI处处可用武。该书之于AI，AI之于各行各业，悠悠之长远矣。

自古以来，万物之灵的人类对自身智能及其模拟发出了天问。杰出的思想家、哲学家和科学家亚里士多德（Aristotle 384 BC-322 BC）、培根（Francis Bacon 1561—1626）、帕斯卡（Blaise Pascal 1623—1662）、莱布尼茨（Gottfried W. Leibniz 1646—1716）、布尔（George Boole 1815—1864）、冯·诺依曼（John von Neumann 1903—1957）、哥德尔（Kurt Gödel 1906—1978）等代表人物在这方面贡献卓著，永铸史碑。更有图灵（Alan M. Turing 1912—1954），仅24岁时便在“On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem”（论可计算数及其在判定问题中的应用）这篇开山之作中提出了通用计算机器的原型——图灵机，奠定了现代计算机的理论基础。1950年，他又写了“Computing machinery and intelligence”（计算机与智能）的经典论文，提出了著名的图灵测试。为纪念他对现代计算机的贡献，美国计算机协会（ACM）于1966年设立了计算机科学领域最高荣誉——图灵奖。在1966年—2003年的38年间，共有6位人工智能方面的学者获此殊荣：

1969 明斯基（Marvin Minsky）——人工智能；

1971 麦卡锡（John McCarthy）——人工智能；

1975 纽厄尔（Allen Newell）和西蒙（Herbert A. Simon）——人工智能、人类认知心理学、表处理；

1994 费根鲍姆（Edward Feigenbaum）和雷迪（Raj Reddy）——大型人工智能系统。

人工智能的研究已达半个多世纪的历史，其影响遍及整个社会。如何探索智能和智能模拟的各个侧面与更高层面，是21世纪极富魅力的挑战。人工智能当代权威之一麦卡锡（John McCarthy）在回答某计算机杂志记者大学生时说道：“我们可考虑通过两种途径来实现人工智能。一是生物学方法，二是计算机科学方法。生物学方法得益于这一事实：智能是人类的存在所体现的，因此，在神经生理学或心理学方面对人进行研究，可望知道一些关于智能的奥秘。计算机科学方法认为：我们真正所要研究的是世界以及智能的策略，

只要这些策略能使一个系统实现世界中的目标，便不管其是生物的还是人工智能的。”¹

然而，人工智能，路漫漫其修远兮。美国《科学美国人》杂志著名专栏作家加德纳(Martin Gardener)曾这样描绘过智能之神奇：“创造性思维几乎并不依赖于逻辑或推理。重要的是境遇，伟大的想法从中脱颖而出。数学家们经常提起：灵感的产生与他们当时正从事的工作并不相干。间或在旅游、刮脸或心挂别处之时，灵感忽然闪现。创造性过程既不能随心所欲，也无法诱导而出。实际上，往往在精神松弛、悠闲自在之时，灵机一动，豁然开朗。”“当珍贵的灵感来临时，在人脑中究竟发生了什么，其真相尚无从窥知。这是某种神秘的过程，至今还无法将此教给或存入计算机。”²

《人工智能》第3版的序言、第1部分(1~9章)和第3部分的内容及其习题、附录和中英文术语对照由崔良沂翻译，第1部分(10~15章)和第2部分的内容及其习题由赵永昌翻译。崔良沂对全部译稿作了统稿并加了译注。鉴于本人水平有限，热忱希望读者给予批评指正。

谨此感谢赵永昌(美国夏威夷大学硕士、访问学者)的精诚合作；感谢白英彩教授悉心阅读了译稿并提出指导性意见；感谢梁阿磊博士对译文提出的宝贵意见；感谢谢志良教授(美国宾州大学高级访问学者)富于启示的电话和网上讨论；感谢所有帮助和支持过我们的师生。

最后，感谢清华大学出版社特别是许存权先生为翻译此书提供的帮助和支持。

崔良沂撰于甲申秋日

¹ 引自《John McCarthy 谈人工智能研究途径》，R G 霍夫曼撰写，其译文载《计算机科学》1991年1期

² 引自《啊哈！灵机一动》，马丁·加德纳著，白英彩等译，上海科学技术文献出版社

序 言

谁需要懂得人工智能

本书面向两类读者，一为计算机科学家和工程师，这类读者理解人工智能后可更好地发挥计算机的潜能；二为心理学家、生物学家、语言学家和哲学家，这类读者理解人工智能后可掌握实现智能的原理。

理解人工智能的基本概念，并非事先必须受过计算机科学教育或高等数学的训练。鉴于科学知识体系的开放性，本书势必涉及上述学科中的各种概念，但此类讨论仅限于某些可任选的章节。这些章节都作了明显标记，读者亦可一略而过。

本版反映了人工智能领域内的变化

人工智能（Artificial Intelligence）一书第3版（即本版），部分反映了自第2版发行以来人工智能领域内的持续发展，某些以前似乎不错的概念业已褪色，为更新、更好的概念所替代。

诚然，还有更显著、更具革命性的变化，其中之一是因计算机硬件的惊人发展而引起的变化。有许多简单的概念，10年前似乎荒谬之至，当时看来其计算量大得无法想象，但现在显然是合理可行了，因为高速计算（通常是并行计算）已成为众所周知的事实。举例来说，如第19章中所述，要控制一个快速移动的机器人手臂，采用一个庞大的查询表便是一种好方法。

另一种显著的（也许是最令人瞩目的）变化，是对学习（learning）的关注，特别是对于通过类神经网络来实现的那类学习。10年前，在人工智能领域，研究任意类型学习的人寥寥无几，而今，大多数人显然都把探索学习纳入了其议事日程。因此，本版约三分之一章节是讨论实现学习的各种途径，其中又有三分之一左右涉及类神经网络。

又一种显著的变化表现为某些突破。举例来说，如第26章中所述，一种识别一个三维物体的好方法，是为该给定物体，按给定的视图，为每个可能的物体类构建二维模板。无论从什么角度看该物体，所要求的模板可以完美、简单且按要求加以处理。可是在10年前，就是无人想到过这一点。

最后，还有对规模扩大的重视。而今，只适合解决袖珍问题的概念很难具有吸引力，这样，教材撰写人不免处于两难境地，因为教材必须从讨论袖珍问题入手，不然，现实世界的纷繁复杂就会妨碍对基本概念的理解。鉴此，在比较简单的背景中阐述了基本概念后，方才对许多重要的应用实例加以讨论。

本版反馈读者对先前版本所提的建议

本书第1版和第2版的许多读者提出了一些极好的建议。在西雅图（Seattle）与 Peter Andreae 和 J. Michael Brady 的一次会晤时，他俩边喝咖啡边对一个现已淡忘的议题评论道：在头脑中想象如何将这些概念在程序中体现，对于学生来说有点难度。

同样，本人在麻省理工学院的一些学生的反馈表明：有必要将一些真正强有力的概念和基本的主题，例如最小冒险原则¹和表达形式的重要性，从琐碎的实现细节中分离出来。

针对这些建议，本版提供了下列类型的概括性说明，用标线框出：

- 半形式化过程说明
- 半形式化表达形式说明
- 分级体系树
- 强有力的概念

读者可按兴趣选读有关章节

为督促我的学生写博士论文时紧扣主题，我对他们说：我阅博士论文不会超过百页。反观本书篇幅，似乎有点置本人信条于不顾，因为早已厚达数百页了。然而，我并未失言，因为本版更易于阅读，它具有下列特点：

- 本书各章，基本上相互独立。特定兴趣或时间有限的读者，可选读其中 1 至 2 章，便可获得所需的知识。
- 本书呈模块化结构，教师以书中 200 或 300 页资料为基础便可自行设计一个主题讲案。
- 本书第 3 版与第 2 版相比，各章篇幅较短。一两次授课可涉及多个章节。

如果读者想一般性地理解人工智能，可阅读第 1 部分的第 2~12 章，并粗览第 2 部分的第 16~19 章和第 3 部分的第 26 章，对后两部分内容有初步了解便可；如果主要对学习这一概念有兴趣，可先阅读第 1 部分的第 2 章，学会各种表达形式，再看第 2 部分的所有章节；如果主要对视觉或语言有兴趣，可仅阅读第 3 部分的有关章节。

本版配有任选软件

本书对概念的讨论有多个层面：从争论点或可选点这一层面，至离计算机程序实现仅一步之遥的层面。对有进一步追求的读者，欲知下一步如何将概念变为计算机程序，有下列辅助性资料可供选择：

- 对已掌握 LISP² 编程语言的读者，为支持本书而编写的大量程序可从因特网下载，这些程序的数量还在不断增加，具体可参见序言前的软件提示。
- 对尚未掌握 LISP 编程语言的读者，可阅读由 Patrick H. Winston 和 Berthold K. P. Horn 所著的配套书：LISP。这是一本很好的入门书，介绍了如何从编程的角度处理本书所阐述的许多概念。

本版配有教师手册

配套书《教师手册》包含习题解答和教学大纲样例。

帕特里克·亨利·温斯顿 (Patrick Henry Winston)

¹ 译注：最小冒险原则 (the principle of least commitment) 是一种推理控制的策略决策原则。它要求在获得足够信息之前，不随意作任何决策。

² 译注：LISP (全称为 LISP Processor)，一种函数式符号处理语言。设计者为麦卡锡 (John McCarthy 1927 -)。LISP 自 1960 年推出后便成为人工智能领域最流行的编程语言之一。

目 录

第 1 部分 表达和方法	1
第 1 章 智能计算机	3
第 2 章 语义网络和描述匹配	11
第 3 章 生成-测试法、手段-目标分析法和问题归约法	35
第 4 章 网络和基本搜索法	48
第 5 章 网络和最佳搜索法	61
第 6 章 树和对抗搜索法	74
第 7 章 规则和规则链接	88
第 8 章 规则、底层和认知模型的建立	121
第 9 章 框架和继承	133
第 10 章 框架和常识	155
第 11 章 数值约束和传播	172
第 12 章 标符约束和传播	185
第 13 章 逻辑和消解法证明	211
第 14 章 回溯和真值维护	228
第 15 章 规划	240
第 2 部分 学习和认识规律	259
第 16 章 通过分析差异进行学习	261
第 17 章 通过解释经验进行学习	273
第 18 章 通过纠正错误进行学习	288
第 19 章 通过记录案例进行学习	297
第 20 章 通过管理多重模型进行学习	306
第 21 章 通过建立识别树进行学习	315
第 22 章 通过训练神经网络进行学习	331
第 23 章 通过训练感知机进行学习	351
第 24 章 通过训练近似网络进行学习	365
第 25 章 通过模拟进化进行学习	375
第 3 部分 视觉和语言	393
第 26 章 识别物体	394
第 27 章 描述图像	409

第 1 部分 表达和方法

第 1 部分讨论基本的表达形式与求解方法。工程技术人员可利用基本的表达形式和方法构建实用系统，科学研究人员可利用基本的表达形式和方法解释各类智能。

第 1 章 智能计算机 阐述什么是人工智能，为何人工智能至为重要，以及如何应用人工智能；同时讨论判定成功的标准。

第 2 章 语义网络和描述-匹配法 阐述作为一种好的表达形式的重要性及如何测试一种表达形式以弄清其是否作为一种好的表达形式；沿着这条线索，介绍语义网络和描述-匹配法。并通过示例，介绍一个几何类比问题求解器、一个故事情节识别器和一个基于特征的对象识别器。

第 3 章 生成-测试法、手段-目标分析法和问题归约法 介绍 3 种强有力的问题求解方法：生成-测试法、手段-目标分析法和问题归约法。通过这些问题求解方法的示例，强调设计一种好的表达形式的重要性，例如一个状态空间或一棵目标树。

第 4 章 网络和基本搜索法 介绍一些基本的搜索方法，比如深度优先搜索法。这种搜索法可用于各种类型的程序：从机器人路径规划到用自然语言访问数据库信息。

第 5 章 网络和最佳搜索法 介绍一些搜索的方法。但这一章的焦点是：并非针对一个目标寻找任意一条路径，而是要找到最优路径。涉及的方法包括分枝-限界法、离散动态规划、 A^* 等。

第 6 章 树和对抗搜索法 进一步介绍搜索的方法。但这一章的焦点转向博弈。阐述如何用最小最大值搜索法提示走哪一步，如何用 α - β 修剪提高最小最大值搜索的速度；还将阐述试探继续和递进式深入，面对变化无穷的棋面，如何有效地利用所有的时间。

第 7 章 规则和规则链接 说明使用简单的 If-Then 规则可纳入大量商业上有用的知识；阐述在程序中如何使用 If-Then 规则进行顺向链接和反向链接；并介绍两个示例：一是用于动物园动物识别的袖珍系统，二是用于货品装袋识别的袖珍系统；还将阐述某些关键的实现细节，如通过树搜索的变量绑定和 rete 过程。

第 8 章 规则、底层和认知模型的建立 阐述如何在基于规则的问题求解机构之上构建重要的功能。具体地说，是介绍一个程序如何说明到达某一结论的步骤、一个程序如何作各种类型的推理，如何作时间约束的推理，如何确定一个结论的概率，如何检查一个新提出的规则的一致性。还将介绍知识工程和一个基于规则的人类问题求解模型：SOAR。

第 9 章 框架和继承 介绍框架、类、实例、槽、槽值等；同时介绍一种强有力的问题求解方法：继承，从而可借助实例隶属的类的知识来获取有关该实例的大量信息；还将阐述如何在某些通常称为幽灵 (demon) 的过程中获取与类相关的知识。

第 10 章 框架和常识 阐述如何用框架获取关于动作如何发生的知识。具体地说，是阐

述如何用主题角色框架描述由动词和名词传达的动作，如何用动作框架和状态变化框架描述在与文法无关的深层次上所发生的动作。

第 11 章 **数值约束和传播** 说明一种好的表达形式通常揭示出一些约束，使得结论传播出去，犹如一石激起层层水波。具体地说，是阐述数值约束如何通过意见网络传播概率估计以及通过平滑度约束传播高度测算。

第 12 章 **标符约束和传播** 进一步介绍约束传播。这一章的重点是标符约束传播，阐述如何用标符约束传播求解线条图分析和相对时间计算的问题。还将介绍 Marr 的方法论原则。

第 13 章 **逻辑和消解法证明** 介绍逻辑，作为问题求解范型方面新增加的重要知识。在熟悉大量符号记法的基础上，介绍证明的概念，以及如何通过反证法和消解法定理证明进行求证。

第 14 章 **回溯和真值维护** 阐述逻辑如何作为其他的问题求解方法的基础，具体介绍通过约束传播的证明和真值维护。作为预备性知识，还将介绍什么是从属性定向回溯及其与数值约束传播背景中的时序回溯的区别。

第 15 章 **规划** 介绍两种为达到某目标规划一个动作序列的方法：其一为 STRIPS 法，用 if-add-delete 算子来处理一个断言集；其二为基于逻辑的定理求证，利用状态变量和框架公理将各个表达式组合起来，产生一个电影镜头般的序列。

第 1 章 智能计算机

本书内容涵盖通常称之为人工智能的领域。本章首先介绍人工智能如何定义，章节结构如何安排，对人工智能（无论作为工科或理科）重要性提供某种启蒙；然后介绍人工智能领域某些成功的应用；最后介绍判定人工智能领域工作成功与否的标准。

1. 人工智能领域与本书

人工智能有许多不同的定义，其中之一如下所述：

人工智能是……

▷ 关于可实现感知、推理和行为的计算的研究。

从上述定义的角度，人工智能不同于大部分心理学，因为它更强调计算；人工智能亦不同于大部分计算机科学，因为它更强调感知、推理和行为。

从其目标的角度，人工智能可看作具有部分工科、部分理科的性质：

- 人工智能的工科目标是将其作为一个武器库，以解决现实世界的各种问题。该武器库储备有各种概念，可用于表达知识、运用知识和组装系统。
- 人工智能的理科目标是确定有哪些表达知识、运用知识和组装系统的概念，可对各种类型的智能作出解释。

(1) 本书共分三个部分

首先，为应用人工智能，需要基本上理解如何表达知识，用什么方法利用知识。鉴于此，本书第 1 部分是讨论一些基本的表达形式和解题方法，通过图形和语言的例子显示其功力之深远。

其次，许多人认为学习（learning）是智能的先决条件（sine qua non），所以，第 2 部分是讨论形形色色的学习方式，有些学习方式涉及大量的推理；有些学习方式仅是从数据中挖掘规律性，但对为何呈规律性不作任何分析。

最后，第 3 部分的焦点是视觉感知和语言理解，不仅讨论认知和语言本身，而且论及的概念亦可作为一种启示心智的源泉，供人工智能其他子领域的人士借鉴¹。

¹ 原注：核心人工智能（core AI）这一说法，有时在某些将语言、视觉和机器人看作游离于人工智能主流之外的人士中使用。然而，鉴于语言、视觉和机器人方面的进展在相当程度上能够并已影响了推理方面的研究工作，上述这种剥离显然是误导性的。

(2) 远期应用超乎想象

随着世界日益复杂化，必须更高效地使用人力和物力。因此，需要计算机提供高质量的辅助服务。下面列举了若干可能性：

- 农业 利用计算机控制的机器人来控制虫害、修剪树枝、有选择性地收割混种作物。
- 制造业 利用计算机控制的机器人从事危险和乏味的组装、检查及维修工作。
- 医疗 利用计算机辅助医生诊断、监护病人、管理医治、整理床铺。
- 家务 利用计算机作烹饪和购物的顾问、清洁地板、修剪草地、洗衣及处理家庭杂务。
- 学校 利用计算机不仅对学生的错误作出反应，而且对其犯错的根由加以分析。计算机的作用应该像超级的教科书，比如可显示行星轨道，演奏乐曲，帮助学生理解物理和音乐。

(3) 近期应用孕育新机

许多人持有一种误解：人工智能的商业视向必定是以取代人工达到省钱的目的。但在商业界中，许多人更热衷于新的机遇而非降低成本。况且，完全替代人工的工作，还涉及极难之事以至几乎不可能之事，虽然尚不清楚如何将人所显示的认知、推理和行为方面的全部能力赋予计算机。

不过，由于万物之灵的人与智能计算机能相辅相成，人与机器可以协同实现单方面难以实现的可能性。下面是一些例子：

- 商业上，利用计算机可搜索相关的信息，调度工作，分配资源，发现数据库所蕴含的规律性。
- 工程上，利用计算机可研发更加有效的控制策略，创造尤佳的设计，诠释以往的决策，确定未来的风险。

(4) 人工智能为传统问题带来新思维

人工智能丰富了心理学、语言学和哲学的传统思维，理由如下：

- 计算机意象有助于思维。计算机领域的工作，已导致了一种丰富的、新的表意方式，用于说明如何作事、如何描述事物。概念的意象和类比的应用，产生了论述思维的更强大的思维。
- 计算机模型要求精确性。最慎思的研究者亦百密难免一疏，所谓智者千虑，必有一失，但一理论之疏误讹错在实现中会暴露无遗。进入思维和实验周期后，常有重大路障出现。这些问题是始料未及、匪夷所思的。
- 计算机的实现要求对作业进行量化。若一个程序执行一个作业，可以作出关于此作业需要多少信息处理的上限的陈述。
- 计算机程序表现出无限的耐心，无需喂食，亦无咬人之虞。而且，剥夺一个计算机程序的某知识点，以测试该知识点有多少重要，通常也很简单。对于动物大脑来说，这样做要达到同样的精确性几乎是不可能的。

注意：使计算机具有智能并不等同于使计算机模拟智能。有些人希望揭示对所有类型的智能信息处理器而皆准的原理，人工智能便十分具有诱惑力。这里，智能信息处理器不只是指用神经组织代替电子线路的处理器而已。因此，既不偏执于单纯模拟人类智能，也不对涉及人类智能的方法抱有偏见。相反，应持一种孕育新方法学，产生新理论的新观点。

(5) 人工智能令人们更聪明

正如人类信息处理的心理学知识有助于使计算机变得更聪明，主要采用计算机推导出的理论常常也提供了关于人类思维的有益启示。通过人工智能研究，人们无意中使用的许多表达形式和解题方法业已具体化，从而更易于为人们有针对性地使用。

2. 人工智能的应用范围

本节讨论以人工智能导出的概念为基础的表达系统。学完本书，便可着手将人工智能的概念结合到自己的系统中去。

(1) 人工智能可辅助专家求解分析难题

在人工智能研究早期，James R. Slagle 显示：计算机能解一年级大学生水平的积分题。今天，计算机程序能作程度远高于此的某些数学分析。

例如 KAM 程序，此专家系统是关于非线性动力学的。从事研究有关确定复杂对象相互作用的方程的科学家，对这门学科是极感兴趣的。

作为 KAM 程序的演示，KAM 程序的开发者 Kenneth M. Yip 命令它推导下列差分方程的含义，以研究恒星的运行。这些差分方程是由著名法国天文学家 Michel Henon 提出的。

首先，KAM 程序执行一系列模拟，对其初选的 x 和 y 的 10 个级数进行跟踪， $x-y$ 值的结果图形如图 1.1 所示。

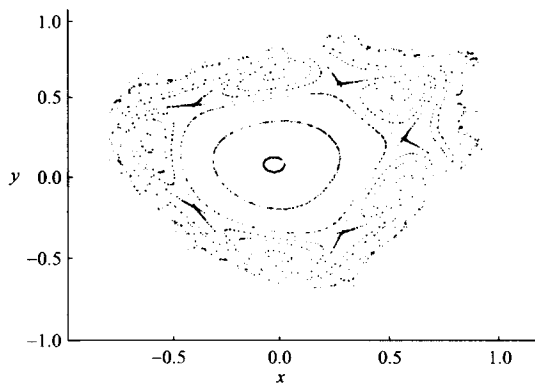


图 1.1 YIP 程序执行其自身的实验，然后利用计算机视觉的方法和深厚的数学知识对实验结果进行分析。这里显示的是 YIP 程序在对天文学家所研究的方程作分析的过程中产生的图形。此图由 Kenneth M. Yip 提供

接着，KAM 程序使用计算机视觉研究中所开发的方法，加上其深厚的数学知识，得出下列结论。KAM 程序的复杂能力不免令人深有感触。

分析

一椭圆定点位于 (0 0 0)。围绕此定点的是由一条旋转数为 $1/5$ 与 $1/4$ 之间的 KAM 弧所设定的正则区域。在此正则区域外，是一条由 5 个岛屿组成的链。此岛链由一条旋转数为 $4/21$ 与 $5/26$ 之间的 KAM 弧所设定。最外层的区域由最后逸离的无序轨迹占据。

KAM 程序的分析与 Henon 本人所作的原始分析的相似程度，令人注目。

(2) 智能系统可辅助专家设计新的装置

智能程序在科学技术上的应用并不局限于作复杂分析，最近许多程序已开始面向综合应用。

例如，Karl Ulrich 开发的一个程序会设计简单的装置，然后再寻求缩减零件个数以节省成本。在一项实验中，Ulrich 的程序设计了一个通过测量气压增大速率来估算飞机下降速率的装置。

Ulrich 的程序执行的第 1 步是搜索能完成指定任务的零件集，其结果如图 1.2 (a) 所示。实质上，当气压迅速增大时会推动活塞右移，将活塞后面的空气压缩，使其进入储气室；一旦气压不再增大，活塞后面的空气和储气室的空气便通过回流管流回，速率指针即回到零位。因此，Ulrich 的程序用更复杂的语言设计了一个差分气压的装置。

Ulrich 的程序执行的第 2 步是搜索零件可承担多重功能的方式，以减少所需零件种类的数目，其结果如图 1.2 (b) 所示。该程序增大了活塞与气缸壁之间的空隙，从而将回流管从设计中删除；然后，该程序又增大了气缸的长度，使气缸兼具储气室的功能，从而可将储气室从设计中删除。

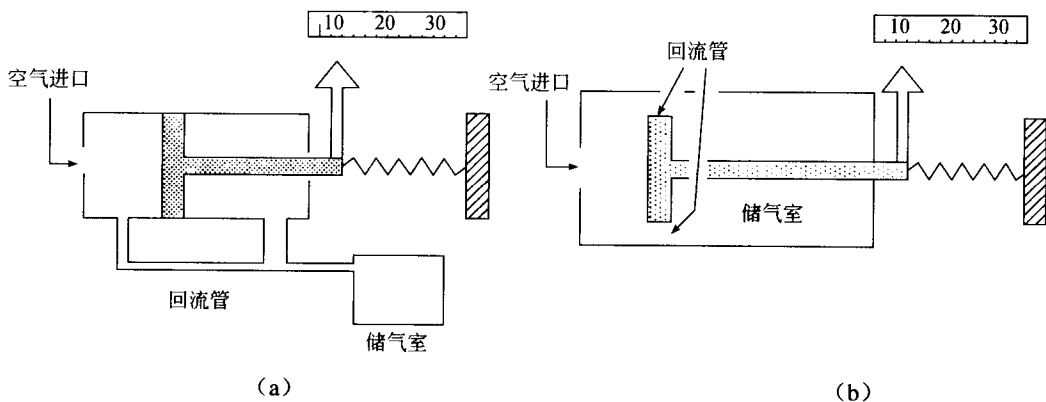


图 1.2 Ulrich 程序通过两个步骤来设计测量下降速率的装置。首先，如图 1.2 (a) 所示，Ulrich 程序发现了一套可实现目标的部件；然后，如图 1.2 (b) 所示，Ulrich 的程序通过减少所需零件的个数，简化了整个设计

(3) 智能系统能从实例中进行学习

大多数学习程序，或是面向经历，或是面向数据。关于面向经验的学习，其研究目标是发现程序如何能像人类那样进行学习——按常识就新的经验进行推理。

关于面向数据的学习，其研究目标是开发实用程序，以从数据库中挖掘出可利用的规律性。在各种面向数据的学习程序中，最有名的数 J. Ross Quinlan 开发的 ID3 系统。ID3 及其后续版本对成千上万的数据库进行挖掘，产生出各种识别规则，其应用领域范围甚广，从信用评价直至疾病诊断。

有一个由 Quinlan 本人所作的典型的技术性练习，针对的是一个存储甲状腺病人信息的数据库。根据悉尼 (Sydney) Garvan 医学研究所提供的信息，采用了 7 个连续变量 (如 thyroid-stimulating hormone, TSH, 即促甲状腺素) 和 16 个离散变量 (诸如该病人是否已动过甲状腺手术)，对数千个甲状腺病例逐个进行描述。

Quinlan 的程序从该海量数据中提炼出 3 条直截了当的甲状腺病分类规则：

If 病人的 TSH 值低于 6.05 单位，
then 病人的类别为阴性。

If 病人未动过甲状腺手术，
 病人的 TSH 值高于 6.05 单位，
 病人的 FTI 值低于 64.5 单位，
then 病人的类别为原发性甲状腺炎。

If 病人未在服甲状腺素，
 病人未动过甲状腺手术，
 病人的 TSH 值高于 6.05 单位，
 病人的 FTI 值高于 64.5 单位，
 病人的 TT4 值低于 150.5 单位，
then 病人的类别为代偿性甲状腺炎。

显然，在全部 7 个连续变量和 16 个离散变量中，仅 5 个是有用的。

(4) 智能系统能对以结构化数据和自由文体形式提出的英文问题作出应答

历 12 年之久，旅行者 2 号空间飞船终于结束了探索外层行星的宏伟旅行，发回了蔚为壮观的海王星卫星和光环的照片，令在场的新闻记者和科学家兴奋不已。Boris Katz 与喷气发动机实验室的研究人员合作，邀请记者和科学家使用他的 START 系统来询问有关海王星邂逅、旅行者空间飞船以及太阳系的问题。

为了回答各种简单明确的问题，START 系统读入不同的表，包括由旅行者巡航小组提供的一张距离表，由旅行者顺序小组提供的一张时间-路线表等。下面是几个代表性的问答例子。

- 旅行者是什么时候发射的？
旅行者空间飞船是于 1977 年 8 月 20 日在佛罗里达发射升空的。
- 旅行者何时将与地球失去联系？
旅行者将在 2014 年左右与地球失去联系。
- 海王星上一年有多长？
海王星公转一圈的时间约为 165 个地球年。

START 系统也会摘录各种发表的有关太空的文献，通过显示英文文本的形式来回答问题。下面是一些代表性的问答例子。注意：问题中的一些关键性的词，如颜色、通话、天气等，并未出现在回答中。

- 海王星是什么颜色？
- 当观看海王星的照片时，可看到该行星的大气和云端。海王星看上去带点蓝色，因为其大气层中的甲烷反射蓝色和绿色的光频。甲烷吸收太阳光中的红色和黄色频率。
- 旅行者如何与地球通话？
- 地球的指令发至旅行者空间飞船上的两个接收器之一。工程数据和科学信息通过两个信道发往地球。一个信道是永久性开通的，但在与行星邂逅时，两个信道都是开通的。旅行者上的无线电发射器的发射功率约 25W，相当于冰箱内灯泡所用的功率。这些微弱的信号由地球上称为深度空间网络的超敏感接收器接收。
- 海王星上的天气如何？
- 海王星接收的太阳光约为地球的千分之一，因此温度很低。一般来说，温度在华氏零下 360°（摄氏零下 218°）左右。

(5) 人工智能不再耸人听闻，但日益显得不可或缺

人工智能的早期应用，其动机大部分出于研究者显示人工智能具有实用价值的愿望。现在，随着该领域日渐成熟，其应用开发越来越受到商界获取商业战略目标意向的驱动。

商业性驱动应用的一个例子是由 Ascent Technology 公司开发、Delta 航空公司使用的 ARIS 系统（the Airport Resource Information System）。

该机场资源信息系统有助于为抵达航班分配机场各个出入口。如图 1.3 所示，对于一个繁忙的机场来说，分配出入口问题是有相当难度的，因为 ARIS 系统必须对抵达航班和出发航班的各种变数作出即时反应，比如坏天气引起的变化，此外还有多种约束条件需加以考虑。一个显然的约束是不能让一架大型飞机停泊在仅为小型飞机设计的出入口前。另一个约束是乘客希望转航客机停在便于行走距离内的相应出入口。再举一个不太明显的约束，管理人员希望飞机抵达或离开所分配的出入口时要避免可能发生的拥挤堵塞现象。ARIS 系统采用了基于规则的推理、约束传播、空间规划等人工智能方法，以处理包括上述约束在内的许多约束。

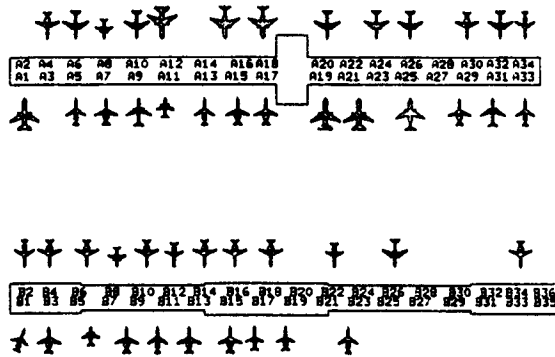


图 1.3 ARIS 系统有助于决策管理繁忙的机场的出入口资源

然而，处理约束并非是 ARIS 系统开发人员面临的主要挑战。其他有难度的挑战有：需为决策人员提供当前运行的透明场景，需与主机数据库交换信息，需对硬件故障进行快速、自动的修复，需向负责行李、伙食供应、乘客服务、乘务小组调度、飞机维护等各路人员发布各类信息。这些挑战在驾驭人工智能概念与其他已成熟或正在显现的技术方面需要相当的技巧¹。

3. 判定成功与否的诸项标准

每一领域都需要判定成功与否的标准。确定人工智能的某项研究是否成功，需回答以下 3 个关键的问题：

- 该任务是否清晰而明确地定义？
- 是否已有一个实现过程来执行所定义的任务？若否，则在某处可能还潜在不少困难。
- 是否存在一组可识别的规律性或约束，使实现过程可以从中获得力量？若否，则该实现过程或许只是一个特定的玩具，也许能针对仔细挑选的例子进行华而不实的演示，但无法作出令人留下深刻印象的表现，也不利于解决任何其他问题。

判定人工智能某项应用是否成功，还需回答以下问题：

- 该应用是否解决了一个实际问题？
- 该应用是否开辟了一种新的机会？

本书自始至终穿插了各种符合上述标准的研究和面向应用的实例：全部实例都执行明确定义的任务，都包括实现的过程，都包含已识别的规律性或约束，其中有些实例还解决了实际问题或者开辟了新的机会。

¹ 原注：著名工业分析家戴森（Esther Dyson 1951 - ）曾说过，人工智能方面某些最为成功的应用是人工智能如葡萄干散布在一块葡萄干面包内那样的应用：葡萄干并不占多大地方，但却提供了主要的营养源。