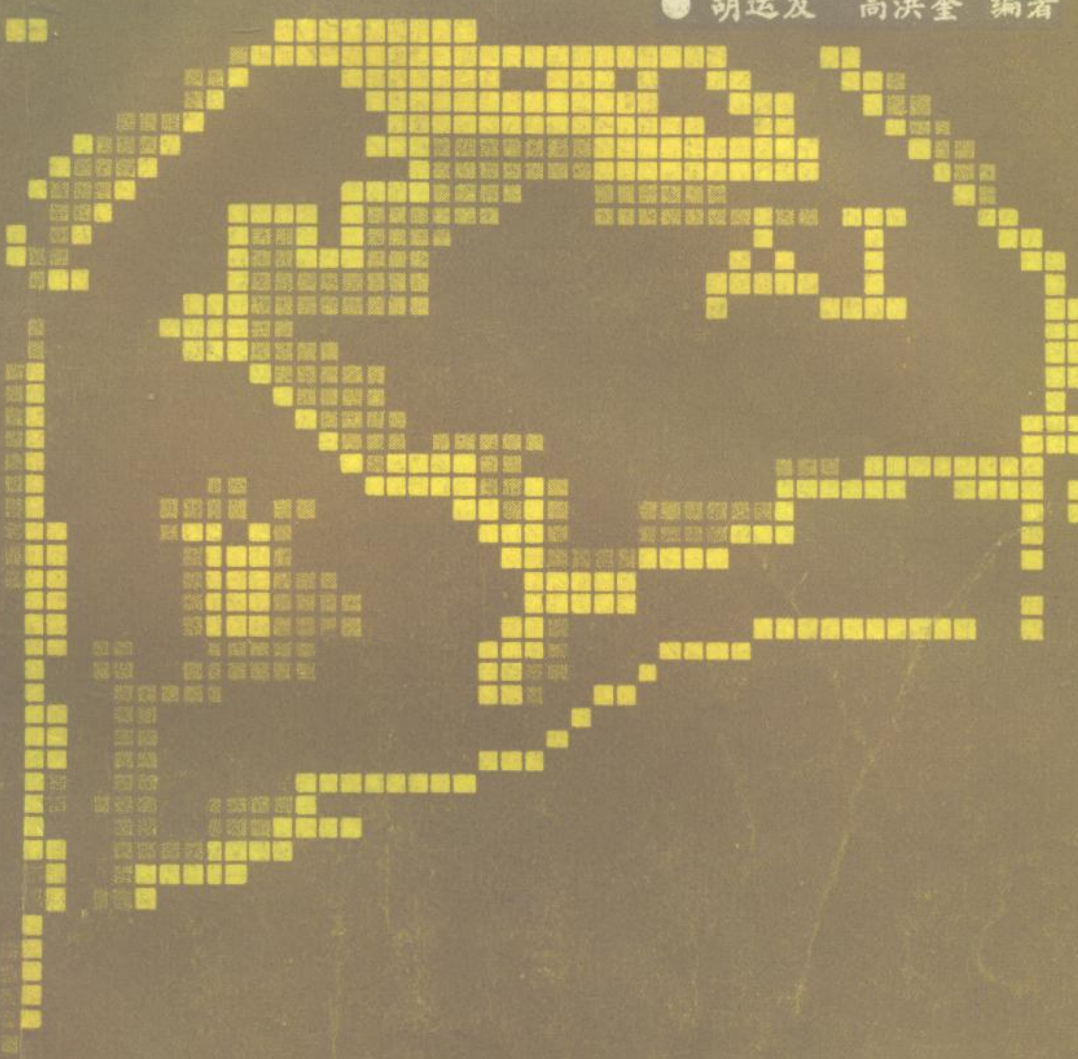


● 胡运发 高洪奎 编著



人工智能系统 ——原理与设计

国防科技大学出版社

RENGONG ZHINENG XITONG
YUANLI YU SHEJI

人工智能系统 ——原理与设计

胡运发 高洪奎 编著

国防科技大学出版社

内 容 简 介

本书是在教学、科研基础上,广泛吸收国内外最新科研成果编写而成。

本书简要地介绍了人工智能的基本原理和一般技术,系统地描述了专家系统、知识表达和推理、知识库管理、自然语言理解以及规划生成技术等人工智能系统设计方法。本书强调实现技术,采用逻辑程序设计语言PROLOG进行各种人工智能系统的设计,具有鲜明的理论联系实际的特色,反映了人工智能领域的最新科技成果。书中涉及到的所有主要智能性系统均可在计算机上运行并给出相应的智能行为特征。各章之后附有习题,重要的智能系统在附录中给出。

本书可用作计算机专业和自动化专业研究生及高年级本科生的教材,也适于从事人工智能、专家系统以及新一代计算机研究的科技工作者参考。

人工智能系统原理和设计

胡运发 高洪奎 编著

责任编辑 王金荣

*

国防科技大学出版社 出版发行

湖南省新华书店经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 14¹²/16 字数: 329.2千字

1988年8月第1版 1988年8月第1次印刷 印数: 3 000

ISBN 7-81024-028-5

TP·8 定价: 2.80元

前 言

人工智能 (Artificial Intelligence简称AI) 是一门年轻的学科, 它以电子计算机为工具, 以模拟人类的智能行为为目标。由于人类对自身的思维规律和智能行为仍处在探索阶段, 加上电子计算机的局限性, 智能模拟的任务就显得十分复杂而艰难。为解决此项任务而提出的理论往往过于复杂以至不易为直觉或形式的论证方法所证明。提出一种人工智能理论固然不易, 实现某种人工智能系统并从中得出正确的结论更为艰难。有时, 为了理解和评价一种理论, 唯一方式就是看这种理论下一步有什么结果。为了找出结果, 就不得不写出反映这种理论的程序。如果程序运行成功, 当然不能说该理论就是正确了, 但至少可以说得到某种理解和信任; 如果运行失败了, 即说明理论尚有某处不妥之处。这就是人工智能不同于其它学科的基本特点。研究人工智能就得研究人工智能系统原理和设计方法, 人工智能系统设计乃是人工智能学科中主要的和基本的一环。

在人工智能活动的第一阶段, 人们曾经认为简单的搜索技术加上快速的计算机就可以实现智能任务。实际上并不如此简单, 于是人们转而研究特殊领域的问题求解技术, 终于认识到, 知识对智能行为的重要性, 没有知识就没有智能, 没有专家一级的知识就没有专家一级的本领。所谓人工智能系统实际上就是知识的表达、推理和获取的系统。尽管不同的领域中, 知识的表达, 知识的推理, 知识的获取方式可能不同, 但表达、推理和获取是必不可少的。另外, 知识的表达、推理和获取多种方式中, 必定存在某种基本的方式。希望把基本的知识表达、推理和获取机制抽取出来, 用来构成智能问题求解的通用框架, 然后找出办法把不同领域的特殊的知识表达、推理、获取方式纳入通用框架之中, 从而完整地实现不同的人工智能系统。这就是本书的基本目的。

人工智能历史表明, 所有各项知识表达均是以逻辑推理为基础。以某种逻辑系统作为知识表达、推理、获取的基本框架, 并以此沟通各种不同的知识表达、推理、获取方式, 可能会收到事半功倍的效果。

本书共分九章。第一章概述了关于人工智能的基本观点。第二章介绍了人工智能系统构成的基本原理和技术, 这些原理和技术是普遍适用的, 与具体的知识表达无关。第三章系统介绍如何构造一种通用的问题求解系统, 包括理论基础, 工具的选择到系统的构造技术。第四章介绍专家系统是如何在通用求解系统的基础上构造出来的, 还介绍了理想专家系统的成分。第五章至第九章涉及到启发式推理、知识表达和推理、知识库管理、自然语言理解以及规划生成技术, 它们既是当今人工智能最为活跃的独立领域, 也是实现理想专家系统的必要手段。书中列出了若干典型的智能系统的完整程序, 它们是进一步构造实用人工智能系统的框架。

本书从第三章开始至第九章均结合原理和方法系统地描述了各种典型的复杂的人工智能系统, 这些系统均可在计算机上正确地再现其智能行为特征。它们也为实用的人工智能系统设计提供了从理论到实际的途径。本书中, 理论、原理、方法不再是枯燥的教条, 而是解决智能问题的指南。同样地, 程序不再是令人费解的指令序列, 而是原理、方法的一种自然描述。企图跨进人工智能领域的人们, 精心熟悉本书, 将大大缩短他们

的培训周期。就是对于计算机工作者来说，熟悉本书，也是一种良好的技术训练。理论联系实际的风格，正是本书的重要特点。

读完本书的读者可以正确地判断：人工智能实际上是以逻辑为基础，以知识为中心，以搜索为手段，已经形成了一门学科。同时，也可以作出这样的判断：尽管人工智能已经取得了广为注目的成绩，但仍有一定的局限性，就象计算机本身存在局限性一样。

本书由胡运发负责主编，高洪奎负责第三章一部分、第七章全部的编写工作和全书大部分程序的验证、调试工作。研究生黄志毅、王平、杨莉在本书改写工作中给予协助。

本书的素材均有可靠的来源（详见参考文献），编者力图阐明人工智能基本原理并反映最新成果，编者也力图结合自己近几年来参与人工智能教学、科研的经验，对人工智能的观点和叙述方式作了一定程度的探索，特别是强调用逻辑的方式描述人工智能系统设计，这只能说是一种尝试，缺点错误一定不少，诚望批评指正。

吴泉源教授和王朴副教授审阅了本书，并给出较高的评价。加拿大籍教授吴振杉，国内同行李卫华、刘椿年、史忠植的工作，对本书的形成有一定的影响，编者在此向他们一并表示谢意。

作者1988年1月

目 录

第一章 人工智能引论

1.1 人工智能的对象	1
1.2 人工智能的基本假设	1
1.3 人工智能的技术特征	2
1.4 人工智能的目标和衡量标准	4
1.5 正确看待人工智能	5

第二章 建立人工智能系统的基本原理

2.1 把问题求解定义为状态空间搜索	7
2.2 搜索的基本问题	9
2.2.1 正向推理与逆向推理	9
2.2.2 问题树与问题图	12
2.2.3 知识表达与框架问题	13
2.2.4 匹配	14
2.2.5 启发式函数	17
2.3 基本的搜索方法	18
2.3.1 生成测试法	19
2.3.2 广度优先搜索法	20
2.3.3 或图最佳优先搜索法	20
2.3.4 日程表最佳优先搜索法	24
2.3.5 与或图最佳优先搜索法	26
2.4 搜索算法分析	31
2.5 通用的搜索系统	32
练习二	34

第三章 通用搜索求解系统的原理和方法

3.1 Horn逻辑系统的语法	36
3.2 Horn逻辑的形式化说明性语义	38
3.2.1 Horn逻辑的模型论	38
3.2.2 最小H-模型的不动点刻画	41
3.3 Horn逻辑的过程语义	43
3.3.1 变量置换和一致化算法	44
3.3.2 SLD归结法的正确性	47
3.3.3 SLD归结法的完备性与SLD树	49
3.4 一个实际的Horn逻辑系统——PROLOG系统	51
3.4.1 PROLOG的语法和非形式的说明性定义	51
3.4.2 PROLOG的运行方式	52
3.4.3 附加的控制机制——CUT	55

3.4.4 否定信息的处理	57
3.5 通用符号处理语言 LISP 综述	58
3.5.1 数据结构	58
3.5.2 程序结构	58
3.5.3 对S表达式的基本运算	61
3.5.4 树结构	63
3.5.5 表	64
3.5.6 映射函数	66
3.5.7 λ 表达式	66
3.5.8 原子	67
3.5.9 LISP内部数据结构	68
3.5.10 相等性问题	70
3.5.11 局部变量和自由变量	71
3.6 用LISP语言作工具设计通用问题求解系统——PROLOG系统	72
3.6.1 PROLOG用户界面模块的设计	73
3.6.2 定义和修改子句模块的设计	75
3.6.3 问题求解模块的设计	76
练习三	80
第四章 专家系统设计原理和方法	
4.1 专家系统概述	81
4.1.1 基本专家系统结构	81
4.1.2 理想专家系统结构	82
4.2 符号处理功能的设计	84
4.2.1 表处理功能的设计	84
4.2.2 符号微分	86
4.3 一般问题求解功能的设计	89
4.3.1 图搜索	89
4.3.2 A*算法的实现	91
4.4 专家系统解释界面的设计	94
4.5 不精确推理机的设计	101
4.5.1 不同的不精确推理方法概述	101
4.5.2 不精确推理的实现	103
练习四	106
第五章 启发式定理证明器的设计	
5.1 直接采用PROLOG作为定理证明器	108
5.2 一个启发式定理证明器的设计	109
5.3 利用启发式语义信息的定理证明器	113
练习五	117
第六章 多种知识表达和推理	
6.1 引言	118
6.2 多种知识表达形式	119
6.2.1 语义网	119

6.2.2 框架结构	120
6.2.3 脚本	121
6.2.4 对象表达方式	122
6.3 知识表达的需求和主要框架	123
6.3.1 知识表达的需求	123
6.3.2 谓词逻辑是知识表达的主要框架	124
6.4 多种知识表达与推理的PROLOG实现	
6.4.1 PROLOG的元级扩充	125
6.4.2 框架表达与推理的实现	127
6.4.3 语义网与脚本的实现	129
6.4.4 对象表达方式的实现	131
练习六	132
第七章 知识库系统	
7.1 知识库系统概述	134
7.1.1 知识获取概念	137
7.2 知识消化系统	138
7.2.1 知识消化的概念	139
7.2.2 元推理和演绎机制	141
7.2.3 知识消化的实现	144
7.3 知识调节系统	149
7.3.1 Shapiro程序调试的三个算法	149
7.3.2 模型推理系统	156
7.3.3 知识调节的实现和实例	161
7.4 知识库举例	164
7.4.1 KBS-1系统	164
7.4.2 KAUS系统	166
7.4.3 百科知识处理系统	167
练习七	167
第八章 自然语言理解系统	
8.1 词法分析	169
8.2 文法规则记号系统——语法分析程序的构造工具	171
8.2.1 文法规则记号系统	171
8.2.2 文法规则记号系统的扩充	173
8.3 语义分析	176
8.4 实用的自然语言子集	177
8.4.1 较为完善的语法描述	177
8.4.2 语义定义和生成	179
8.5 简单的自然语言问答系统	181
8.5.1 由谓词parse表达的句法分析能力	181
8.5.2 由谓词clausify表达的生成子句的能力	181
8.5.3 由谓词reply表达的回答功能	182
练习八	183

第九章 规划求解系统

9.1 规划·····	184
9.2 规划系统的组成·····	185
9.3 实现规划求解系统的基本方法·····	187
9.3.1 用目标栈的简单规划·····	187
9.3.2 用最小提交策略的非线性规划·····	192
9.4 一个通用规划求解系统的实现·····	195
9.4.1 世界描述·····	195
9.4.2 通用规划系统的PROLOG实现·····	198
练习九·····	203
附录一 GKD-PROLOG/VAX780内部谓词表·····	204
附录二 一个完善的专家系统界面程序·····	206
附录三 启发式定理证明器程序·····	211
附录四 适合多种知识表达的元级谓词定义·····	215
附录五 自然语言问答系统程序·····	217
参考文献·····	227

第一章 人工智能引论

1.1 人工智能的对象

作为一门学科，人工智能是把思维过程的模拟作为自己的研究对象。概括地说，人工智能就是研究怎样利用某一物理符号系统，如计算机，从事推理、规划、设计、思考、学习等思维活动，解决迄今认为需由专家才能处理好的复杂问题。这样的定义是狭义的，但是至少在今后若干年内，此定义仍能概括人工智能的基本内容。

早期的人工智能主要集中在博弈、定理证明、通用问题求解等高级思维活动领域。现在，人工智能研究几乎遍及人类思维的各个领域。

Samuel编写的一道下跳棋的程序，不仅能同对手下棋，而且能积累下棋过程中所获得的经验，不断提高下棋的技能，因而曾于1962年荣获美国州级跳棋冠军。

Newell的逻辑理论家程序是定理证明的最早尝试。该程序模拟人用数理逻辑证明定理的思想，采取分解、代入、替换等规则于1963年就证明了Whitehead和Russell合著的《数学原理》第一章的全部定理。

Newell, Simon合作的通用问题求解程序GPS (General Problem Solver) 能求解十一种不同类型的问题。

近期人工智能最活跃的领域集中在专家系统、感知理解（语言，语音，图象）和智能机器人等领域。

PROSPECTOR发现了实际价值可能超过1亿美元的钼矿蕴藏量

R1在数字仪器公司(DEC)，根据顾客要求对VAX计算机系统进行配置。

DENDRAL在几年前就显示了超人的性能，现在它每天为数百名各国用户进行化学结构分析。

PUFF在先前开发的一个诊断咨询系统中，增加了疾病的知识，现在在加利福尼亚州医疗中心供专家分析使用。

感知是一个重要而艰难的领域，人工智能在这一领域也取得相当可观的进展。

1.2 人工智能的基本假设

Newell于1976年明确地提出人工智能学科的前提条件或基本假设：一物理符号系统是一般智能行为充分必要条件。之所以是一个假设，是因为它既不能由逻辑来证明也不能用逻辑来反驳，只能由实验来验证。

那么什么是一物理符号系统呢？

一物理符号系统是由一组称为符号的实体组成，它们都是物理模型，可在另一类称为符号结构的实体中作组分出现。组成一符号结构的是一组按某种物理方法关联起来的符号例示。在任何时刻，系统都含有一组这样的符号结构。除了这些结构外，系统还含有一组作用在符号结构上以生成其他符号结构的过程，包括建立过程、修改过程、复制过程和消除过程。一物理符号系统就是逐步生成一组符号的机器。

这一假设是十分重要的。

首先它指明了计算机是充当验证假设的理想媒介，因为它允许人们编制程序去模拟人们喜欢的任一物理符号系统。根据这一假设，对于任一要求“智能”的特殊任务，应当可以建立完成此任务的程序，尽管目前尚没有达到此种理想的境界，但多数科学家认为，现在已碰到的许多问题最终会被较现有程序复杂得多的程序解决。由此人们产生了如下的信念，即构造程序去履行现在由人履行的某些智能任务。

这一假设还具有哲学上的意义，因为它刻划了人类智能的基本特征。

1.3 人工智能的技术特征

从上一节我们可以知道，人工智能任务实际上就是构造一个能模拟实现人类智能任务的复杂“程序”。那么，此种“程序”和常规程序有什么不同呢？或者说，什么是人工智能技术独有的特征呢？

人工智能面对思维模拟这样广泛的对象，问题艰难而又各不相同，究竟存不存在同时解决大量问题的共同技术？答案似乎是肯定的。

1. 几乎所有人工智能技术都建立在符号处理之上；
2. 搜索是构成智能问题求解的基础。

符号和搜索是如此的重要，以至于著名的人工智能先驱者Newell说过：“符号和搜索是人工智能的中心”。

尽管搜索是问题求解的普适框架，但是并不能保证总是有效的。要使智能系统高效，最终要求知识。这是不奇怪的。人类的智能就是建立在知识之上，没有知识，就没有智能。人工智能系统要想表达某种智能行为，就必须具有知识；要想达到专家级智能水平，就得有专家级的知识。有人甚至这样说：人工智能就是一门开发知识的技术。

知识分为三类：

1. 叙述性知识，它是客观世界的正确描述，是智能问题求解的依据；
2. 规律性知识，它是用来开发利用描述性知识的知识；
3. 元级知识，它是用来指导如何运用规律性知识的知识。

所有这些知识都应具有如下的属性：

- (1) 应能抓住一般性；
- (2) 应能广泛地被利用；
- (3) 应易于修改和扩充；
- (4) 应便于和提供知识的人交流，即形式上尽可能面向人类，而不是面向机器。

例，字母识别问题。

要求解的问题是将输入图形正确地辨认为字母表中某一字母。输入图形是数字化后的 0 1 矩阵。其中 0 表示无墨，1 表示有墨。

要识别就要知道标准字母的模式。模式构造的方法不同，可能编制不同算法和程序。我们给出三种不同的程序：

1. 程序一

在给定的标准字母的 0 1 矩阵任选三行构成一个二进制数值，使得对于不同的标准字母二进制数值不同，以此为关键字。选择某一哈希 (Hash) 函数，对于不同的关键字均有不同的 Hash 值。然后构造一个 Hash 表，Hash 值不同的 Hash 表目对应相应的字母。

对于此种模式，识别字母问题，就是利用输入矩阵某三行构造一个关键字值。使用同一 Hash 函数得到某一 Hash 值，相应的 Hash 表目中的字母就是被识别的字母。

若输入图形严格和标准模式相同，此程序工作得很好。但是由于：

(1) 现实世界中输入图形只能和标准模式存在某种相同，绝不可能完全相同，同时数字化过程必然存在某种随机干扰。因此输入模式存在的极小变异也会完全导致错误的识别。

(2) 若改变被识别的字符集，人们就得重新构造整个数据库，因为适用老的字符集的 Hash 函数作用在新的字符上，可能会产生相同的 Hash 值。

(3) 若符号数相当大，可能存在任一选行的方法导致相同关键字的情况。

由此可见，这种程序缺乏灵活性和应变能力，并且使用的技术并没有反映人们在字符识别中使用的有关的知识，它通常不能称为人工智能程序。

2. 程序二

将标准模式的 0 1 矩阵分成 N 个区，以每个区内含 1 的个数作为维数为 N 的向量的分量值。 N 要足够大，使得所有的标准模式都能表达成不同的向量。

对于任一输入模式，首先转换成一 N 维向量，然后在 N 维向量空间中计算输入向量与 N 维空间中标准向量之间的距离，把距离最短的那个标准向量对应的字符，认定为输入字符。

此程序优于第一种程序。因为增加新的字符集不必改变整个数据库。对于那些略为不同于匹配模型的输入图形也能辨识，因为手写字母不可能一样，因此极为有用。当然增加灵活性是以增加开销为代价的，故此程序比第一种程序慢。该程序的缺点是：

(1) 不能区分有意义的差别和无意义差别之间界限，例如 I 和 J 是有意义的差别，I 和 l 是无意义的差别。

(2) 不能有效地处理同一字母的不同示例。例如 B 和 β ，E 和 Ξ 会认为不同的字符。

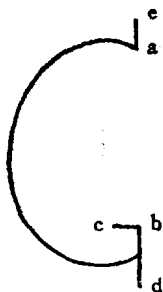
(3) 为了允许处理书写字符所容许的变动，对不同的变动，在数据库中均要设立一个模式。可能变动数与模式之间存在指数关系（这就是所谓的组合爆炸）。例如下图说明两个可能的变动造成四个不同的模式

G, G, G, G

3. 程序三

如果每一个已知模式均对应一个描述，每一描述是一组特征的逻辑公式。例如字母

G可描述为



$\text{arc}(a, b) \wedge \text{above}(a, b) \wedge \text{linesegment}(b, c) \wedge \text{left}(c, b) \wedge (\text{nil} \vee (\text{linesegment}(b, d) \wedge \text{below}(d, b))) \wedge (\text{nil} \vee (\text{linesegment}(a, e) \wedge \text{above}(e, a)))$

该描述指出：G必由一个弧和一线段组成，线段从弧的低端向左画，还可能有一条从弧的顶端竖起的线段，还有可能有一条从弧的低端出发向下延伸的线段。

按此构思，可以编制一道程序，它首先从输入0 1矩阵中找出弧与线段的例示，然后同每一存贮模式加以比较，找出一个匹配最好的模式。

与前面二程序比较，本程序要灵活得多，它能处理字母相对大小的差别，它可以用一简明的语法去描述可能出现在字母中许多特殊的组合。它是用人思考字母的方法来构造描述，即可以充分利用人对字母的有关知识。当然，这里仅是一个示例，不能说程序已经完美无缺。事实上此模型还要受到构造模型描述的细节的影响。如上面说明中就有忽略如何构成弧的细节，并没有区别左向弧还是右向弧，实用中这些细节的区分仍然是重要的。

由这些示例说明，我们意识中的人工智能技术特点包括了程序的复杂性，用法的一般性，知识的明晰性，方法的可延性。

1.4 人工智能的目标和衡量标准

在我们研究人工智能系统之前，弄清人工智能的目标是重要的。

人工智能总是倾向于把计算机感到棘手，但人却感到自如的智力活动的模拟作为追求目标。

这样做的动机是：

1. 便于测试关于人类行为的各种心理学理论。Parry为此编写了一道有趣的程序，模拟狂人的会话行为。由于模仿得相当好，致使许许多多心理学家通过终端同程序会话时，经常把程序的行为诊断为狂人。

2. 使计算机能理解人类的推理过程。例如，一计算机在阅读报刊新闻后，能够回答许多政治问题。要做到这一点，程序必须能模拟人的推理过程。Carbonell讨论过回答政治问题的程序。

3. 使人也能理解计算机的推理过程。在多数场合下，人是在理解机器怎样得出结

论后，才能信赖计算机的输出结果。若计算机的推理类似人的推理，则计算机生成的说明就容易被接受（例如，著名医疗诊断系统MYCIN生成的说明）。

4. 便于从人的知识积累中找到能深入开发的知识。因为人是多数智能任务的开拓者，遵循人的思路是十分有益的。

历史经验表明，面向人模拟人的智能行为而不是面向机器来模拟人的智能行为，是已经取得成功以及即将取得成功的关键。在人工智能早期，人们曾试图在神经细胞水平上来模拟人，以达到智能行为，结果是失败了，因为用这些简单的设备难于生成哪怕是极小一点智能。目前模拟人的智能主要在于更高一级的思维过程，这在专家系统方面取得了显著的成功，而在自然语言理解，计算机视觉等方面得到肯定的证实。

在任何情况下，真正需要的是一种含有智能推理过程的好模型，心理学家、语言学家以及计算机科学家一起工作的新领域——思维科学就是把发现此模型当作主攻方向。

怎样才能称得上成功呢？标准是什么？没有绝对可靠的标准。在人工智能界通常使用图灵测验的方法衡量一个人工智能系统是否达到预期的目的。

1950年，著名的英国科学家Alan Turing提出了如下方法来确定机器能否思考，这就是所谓图灵测验。图灵测验需要两个人和被测的机器，一个人扮演角色A，机器扮演角色B，一个人扮演提问者。他不知道A和B中哪一个是人，但他可以和A、B分别进行通讯。他可以向A或B提问并接受答案。然后猜测A或B中哪一个是人。如果机器能够使提问者猜错70%左右，就可以认为机器具有某种智能。

直到目前为止，并没有哪一个人工智能系统严格地通过了图灵测验。如果我们对研究领域作更多的限制，有时可以相当精确地衡量一道人工智能程序或系统的成就。例如下棋程序如果能击败人类棋手，就可以认为是成功的。又例如程序DENDRAL在对有机化合物作分析之后能确定其结构，由它生成的原始研究结果的分析，已经出版成册，不能不承认这是一种令人满意的成果。尽管作出衡量成功的标准是有困难的，但是我们在动手设计人工智能程序时应尽可能地在有限范围内规定程序的成功标准。

1.5 正确看待人工智能

人工智能是一门年轻的学科，从它诞生开始，就以求解艰难、复杂的问题为己任。人工智能领域充满了探索。现在人工智能已经举世瞩目了，从已经形成的初步理论、方法和技术中，我们的确可以学到很多东西，特别在1982年日本宣布要研究第五代计算机即人工智能机以后，世界各国尤其是日本均以极大的热情和决心研制人工智能机。的确，如果能听、能说、能看、能写、会计算、会规划、会推理、会学习的计算机被制造出来，无疑会给整个社会带来全面的影响。

虽然人工智能的目标十分宏大，但是，实现此目标的手段又是如此软弱。因此我们不能对它抱有不切实际的幻想，有志于人工智能的人们，应该脚踏实地工作。特别是要认真解决人工智能面临的两大难题。即：

1. 若用一个人工智能系统求解非凡问题，系统应该具备许多知识。

2. 随着知识的增长,访问知识,利用知识就愈难。于是需要增加更多的知识以协助访问。如此循环倍增,知识管理就越发困难了。

人工智能作为探索人类智力解放的一门学科,任务是严肃且艰难的,任何贬低人工智能的看法是站不着脚的,但人工智能毕竟年轻,现在虽然取得值得称赞的成就,距离它的目标相差还很远很远,过分夸大也是极其有害的。

第二章 建立人工智能系统的基本原理

根据什么样的原理去建立一个人工智能系统呢？我们将从三个方面加以考察：

1. 如何定义问题求解？人工智能中总是把问题求解定义为状态空间的搜索。
2. 搜索是人工智能问题求解的中心，但如何搜索呢？有关搜索有哪些基本问题和基本方法呢？
3. 如何去构造一个问题求解系统呢？

2.1 把问题求解定义为状态空间搜索

状态空间法构成所有人工智能方法的基础。其结构在如下两个方面与问题的求解结构相对应：

1. 它将一个问题形式地定义为：用一组允许的操作将某个给定的状态转换成所要求的状态。

2. 它将每一待定问题的求解过程定义为已知规则与搜索的结合体。规则定义了问题空间的一个操作；搜索是考察问题的一般技术，目的在于要找出从当前状态到某个目标状态的一条路径。

为提供某个问题的形式描述，要做以下事项：

1. 定义一状态空间，它包含有相关对象的各种可能的排列。当然，仅定义此空间而不必枚举该空间中的所有状态。

2. 规定一个或多个属于此空间的状态，用以描述问题求解过程开始时的可能情况，故称为开始状态。

3. 规定一个或多个属于此空间的状态，用以描述问题的解，称这些状态为目标状态。

4. 规定一组规则，它们描述了可采取的操作或算子。

将非形式的问题描述转换成形式描述之后，下一步，就是应用规则和相应的控制策略去遍历问题空间，直至找出从一开始状态到一目标状态的某条路径。

可见，搜索是问题求解的基础，但这并不表明，不能开发其它更直接的方法。在可能的时候，应该把直接方法编进规则之中以作为搜索中的步骤。搜索是在不知道更直接方法的情况下使用的一般机制，它构成人工智能系统的一种框架。因为大多数人工智能问题均没有直接求解的方法。

状态空间表示方法具有一般性，下面举一例说明之。

例 水壶问题

给定两个水壶，一个能装 4 公斤水，一个能装 3 公斤水，水壶上没有任何度量标记。有一水泵用来往壶中装水，怎样在能装 4 公斤的水壶里恰好只装 2 公斤水。

此问题的状态空间可以描述为一组整数序偶 (X, Y) ，其中 $X=0, 1, 2, 3, 4, Y=0, 1, 2, 3$ ； X 表示在 4 公斤水壶中已含有 X 公斤水； Y 表示 3 公斤水壶中的含水量。初始状态是 $(0, 0)$ 。目标状态为 $(2, n)$ 。其中 n 为任意值。用来解题的操作可用如下十条规则。

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. $(X, Y \mid X < 4) \rightarrow (4, Y)$ | 把 4 公斤的水壶装满。 |
| 2. $(X, Y \mid Y < 3) \rightarrow (X, 3)$ | 把 3 公斤的水壶装满。 |
| 3. $(X, Y \mid X > 0) \rightarrow (X-D, Y)$ | 从 4 公斤的水壶倒出一些水。 |
| 4. $(X, Y \mid Y > 0) \rightarrow (X, Y-D)$ | 从 3 公斤的水壶倒出一些水。 |
| 5. $(X, Y \mid X > 0) \rightarrow (0, Y)$ | 把 4 公斤水壶中的水全部倒掉。 |
| 6. $(X, Y \mid Y > 0) \rightarrow (X, 0)$ | 把 3 公斤水壶中的水全部倒掉。 |
| 7. $(X, Y \mid X + Y \geq 4 \wedge Y > 0)$
$\rightarrow (4, Y - (4 - X))$ | 把 3 公斤水壶中的水往 4 公斤水壶里倒，直到 4 公斤水壶满。 |
| 8. $(X, Y \mid X + Y \geq 3, X > 0)$
$\rightarrow (X - (3 - Y), 3)$ | 把 4 公斤水壶中的水往 3 公斤水壶里倒直到 3 公斤水壶满。 |
| 9. $(X, Y \mid X + Y \leq 3, X > 0)$
$\rightarrow (0, X + Y)$ | 把 4 公斤水壶中水全部倒入 3 公斤水壶。 |
| 10. $(X, Y \mid X + Y \leq 4, Y > 0)$
$\rightarrow (X + Y, 0)$ | 把 3 公斤水壶中水全部倒入 4 公斤水壶。 |

这里 $\rightarrow$ 是表示规则的分隔符，它的左部称为规则的左部或前件，它的右部称为规则的右部或后件。

为了解水壶问题，除了上面给出问题描述之外，还需要某种控制结构：选择其左部匹配当前状态的某条规则，并按照该规则右部的行为对此状态作适当的改变；检查改变后的状态是否为某一目标状态，若不是，则继续循环。很清楚，求解问题的速度取决于用来选择下一步操作的机制（本章的后半部分将讨论这种机制），对可应用规则的任一选择都能导出一合法的状态，但其中仅有部分选择导致目标状态。

在状态空间中，通向目标的路径不止一条，因此存在许多关于解的操作序列，下面是